

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф. МОРОЗОВА»

ОХРАНА, ИННОВАЦИОННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ
И УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ. FORESTRY – 2023

Материалы Международного лесного форума

Воронеж, 13 октября 2023 г.

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER EDUCATION
«VORONEZH STATE UNIVERSITY OF FORESTRY AND TECHNOLOGIES
NAMED AFTER G.F. MOROZOV»

International Forestry forum

PROTECTION, ADVANCE RESTORATION AND SUSTAINABLE FOREST
MANAGEMENT. FORESTRY – 2023

Voronezh, October 13, 2023

Voronezh 2023

УДК 630*232:504

О92

О92 Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry – 2023 : материалы Международного лесного форума /отв. ред. Н. В. Яковенко; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2023. – 660 с. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2023/mezhdunarodnyj-lesnoj-forum-ohrana-innovacionnoe-voستانovlenie-i-ustojchivoe-upravlenie-lesami-forestry-2023/>. – Текст: электронный.

ISBN 978-5-7994-1092-6

В сборнике представлены материалы докладов участников Международного лесного форума «Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry – 2023», состоявшегося 13 октября 2023 года в Воронежском государственном лесотехническом университете имени Г.Ф. Морозова.

Цель форума – конструктивное обсуждение задач и механизмов охраны, инновационного восстановления и устойчивого управления лесами в России и зарубежных странах, реализации приоритетных национальных и международных программ и проектов; выработка и представление конкретных рекомендаций по решению ключевых проблем в этой области, содействие формированию стратегического партнерства научного и экспертного сообщества, органов законодательной и исполнительной власти, общественных организаций, бизнес-структур и СМИ, ориентированного на приоритетные задачи модернизации и научно-технологического развития лесного хозяйства и лесопромышленного комплекса в условиях климатических изменений.

Материалы конференции предназначены для специалистов лесного хозяйства и широкого круга читателей.

ISBN 978-5-7994-1092-6

ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2023

Содержание

Секция 1. Лесовосстановление и лесовозобновление.	
Инновационные технологии в воспроизводстве лесов	8
Брындина Л.В., Арнаут Ю., Федорова О.А. Влияние микологических и микробиологических факторов на свойства почв в целях повышения стрессоустойчивости посадочного материала для лесовосстановительных работ	8
Веретенников В.В. Состояние дубрав Белгородской области	22
Горобец А.И. Продуктивность ивовых сообществ в пойме реки Щигор	32
Дмитриева А.А., Яковенко Н.В., Агазаде Ч.А. Подходы к оценке эмиссий парниковых газов	42
Карташова Н.П., Шешницан С.С., Кулакова Е.Н., Кулаков В.Ю., Иркковский Э.Р. Оценка фракционированных запасов фитомассы в дубравах и борах Центральной лесостепи Русской равнины (на примере Воронежской области)	48
Кочергина М.В., Фурменкова Е.С., Зимарин М.С. К проблеме реконструкции скверов в городе Воронеже	55
Кулакова Е.Н. Лесные культуры как объект улучшения санитарно-гигиенических условий курортных зон Кавказа	63
Лежнев Д.В. Современное состояние и динамика лесного фонда Московской области	71
Матыцина Е.П., Прохорова Н.Л., Говедар З. Оценка состояния древесных насаждений в ООПТ областного значения «Воронежский центральный парк»	80
Михин В.И., Михина Е.А. Лесомелиоративные системы в бассейне Среднего Дона	86
Михина В.В., Харченко Н.Н. Особенности формирования искусственных защитных линейных насаждений с использованием разнообразного ассортимента древесных пород	92
Недбаев И.С., Семенова Е.И., Сорока А.О. Оценка уязвимости лесов к климатическим изменениям	98
Парахневич Т.М., Кирик А.И., Попова В.Т., Трубицына М.П. Благоустройство рекреационных зон на примере Воронежского центрального парка	115
Платонов А.А. Обоснование форм и размеров учётных площадок контроля работ по удалению поросли в охранных зонах линий электропередачи	123
Платонов А.А. Встречаемость видов нежелательной растительности в полосах отвода железных дорог и охранных зонах трасс ВЛ Центральной России	132
Рязанцева О.С., Цепляев А.Н. Анализ состояния посадок конского каштана обыкновенного (<i>Aesculus hippocastanum</i> L.) на некоторых объектах г. Воронежа	141

Сиволапов А.И., Кулаков Е.Е. Особенности произрастания и перспективы внедрения лиственницы в лесокультурное производство для условий лесостепной зоны	151
Сидельников В.А., Харченко Н.Н. Восточный майский хрущ (<i>Melolontha hippocastani</i>) в Пригородном лесничестве Воронежской области	159
Степанова Д.С., Савченкова В.А. Мониторинг состояния зеленых насаждений	164
Титов Е.В. Инновационное воспроизводство высокоурожайных кедровников	173
Трубицына М.П., Парахневич Т.М. Развитие рекреационных зон для улучшения экологической ситуации в г. Воронеж	184
Туркин А.Ф., Матвеев С.М. Дендрохронологический анализ индивидуальных особенностей радиального прироста 20-летних деревьев сосны обыкновенной (по видам древесины) на территории Пригородного лесничества Воронежской области	193
Фарбер С.К., Соколова Н.В., Мартынов А.А. Картографирование современного и прошлого состояния насаждений	201
Царалунга А.В., Лысенко В.В. Санитарное состояние сосновых насаждений, подверженных обстрелам в Луганской Народной Республике	216
Чернышов М.П. Динамика породного состава лесов Центрального Черноземья как критерий оценки их биоразнообразия и устойчивого выполнения прижизненных полезных функций	225
Шишкин А.С., Мурзакматов Р.Т. Платационное лесовыращивание на отвалах	236
Секция 2. Устойчивое управление лесами. Финансово-экономические механизмы в управлении лесами и лесопользовании	243
Азарова Н.А., Филиппова А.В. Инновационные проекты экогородов как способ преодоления системного экологического кризиса	243
Гайденок Н.Д., Чумаков В.Ф., Чумаков И.В. Анализ пандемии Коронавируса-19 на основе эволюционных принципов нелинейной физики и его влияние на кадровые ресурсы химико-лесного комплекса	250
Евлаков П.М., Жужукин К.В., Попова А.А., Евтушенко Н.А. Перспективы и проблемы снижения выбросов углерода лесными насаждениями	263
Иванова А.В., Лопатин В.Л. Экономические аспекты утилизации ТКО в региональной системе	268
Колотушкин А.А., Рудницких А.А. Лес как экономический ресурс	274
Краскова А.Н. Лесоустройство в системе лесного планирования: препятствия в реализации мероприятий и пути решения	280
Лапицкая О.В. Экономическая спелость модальных древостоев Республики Беларусь	289

Марчук И.И., Яковлев А.В. Формы рационального использования лесных ресурсов	300
Момот Р.В. Инструменты расширения воронки «зеленых» проектов компаний: систематизация, основные вызовы и возможности	307
Морковина С.С., Шашкин А.П. О потенциале нарушенных земель для целей реализации лесных климатических проектов	313
Овчаров А.А., Будкова С.В., Куцева Е.Э. Подходы к выбору критериев оценки эффективности использования объектов природопользования	320
Панявина Е.А., Стародубцева Н.А. Оценка проектной деятельности исполнительного органа государственной власти Воронежской области в сфере лесного хозяйства и лесных отношений	327
Степанова Ю.Н., Третьяков А.Г. Система информационного обеспечения государственного управления лесами: проблемы и пути их решения	342
Яковенко Н.В., Колотушкин А.А. Экологическая ценность лесных ресурсов и ее учет	349
Секция 3. Лесоустройство: проблемы и перспективы. Лесное планирование	355
Камалова Н.С., Крутских Ю.В., Майорова Т.Л., Евсикова Н.Ю. К вопросу о перераспределении зарядов в древесине ствола березы	355
Лисицын В.И., Матвеев Н.Н., Евсикова Н.Ю., Камалова Н.С., Внукова С.В. Динамика роста дубовых древостоев: эколого-физиологическая модель	363
Молчанов А.Г., Беляева Е.В. Зависимость фотосинтеза от водообеспеченности у подроста сосны, ели и дуба, произрастающих под пологом леса и на открытых участках	374
Секция 4. Генетика, постгеномные технологии, биотехнологии, селекция и семеноводство	383
Yue Zixuan. Integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices to improve ecosystem services / Интеграция устойчивых систем самоочищения воды в практику лесопользования для улучшения экосистемных услуг	383
Александрова Ю.В., Лебедева О.П., Бабич Н.А. Исследование различных дезинфицирующих средств при введении в культуру <i>in vitro</i> эксплантов древесных растений	392
Брындина Л.В., Гордиенко И.М., Гордиенко Т.В. Аминокислотный биостимулятор растений на основе растительного сырья для применения в декоративном цветоводстве	401
Исаков И.Ю. Полиморфизм размеров пыльцевых зёрен у полиплоидного (берёза пушистая) и диплоидного (карельская берёза) видов берёзы при разных способах опыления	411
Корчагина А.Ю., Ходосова Н.А., Жужукин К.В., Томина Е.В. Характеризация биоуглей, полученных карбонизацией опилок березы и сосны, как сорбционных материалов	422

Попова В.Т., Попова А.А., Цепляев А.Н., Пальцева А.В. Сравнение эффективности размножения <i>Cornus alba`Sibirica Variegata`</i> одревесневшими и зелеными черенками в условиях Воронежской области	431
Ржевский С.Г., Кондратьева А.М., Федулова Т.П., Аксёненко Е.В., Корнев И.И. Разработка наборов праймеров для идентификации фитопатогенов – возбудителей пятнистого ожога хвои сосны	440
Рыжкова В.С., Гродецкая Т.А., Попова А.А., Евлаков П.М., Шестибратов К.А., Лебедев В.Г. Утечка электролитов из образцов листьев у F2 потомства плюсовых деревьев дуба черешчатого	449
Федорова О.А., Евлаков П.М., Гродецкая Т.А., Евтушенко Н.А. Создание <i>in vitro</i> коллекции гибридов тополя, перспективных для выращивания в лесорастительных условиях Воронежской области	455
Секция 5. Лесная инженерия: новые концепции и технологии	463
Болгов А.В., Малюков С.В., Петков А.Ф., Шавков М.В. Условия эксплуатации лесопосадочных агрегатов	463
Драпалюк М.В., Попиков П.И., Дручинин Д.Ю., Петков А.Ф., Поздняков А.К., Пивцов А.В. Повышение эффективности рабочего процесса лесопожарного грунтомета с гидроприводом трехступенчатого ротора-метателя	468
Зимарин С.В., Четверикова И.В., Хрипченко М.С. Оценка качества обработки почвы комбинированным корпусом плуга для нераскорчеванных вырубков	480
Никулин М.А., Иванников В.А., Латынин А.В. Экономическая оценка эксплуатации тракторов различных классов в открытых лесных питомниках разной площади	492
Попиков П.И., Богданов Д.С., Конюхов А.В., Попиков С.К., Хоменко К.Г. Анализ исследований рабочих процессов энергосберегающих гидроприводов и устройств высоконагруженных технологических машин и оборудования	500
Посметьев В.И., Никонов В.О. Оценка работы традиционных тягово-сцепных устройств лесовозных автопоездов на основе анализа нагрузочных режимов их работы	514
Никонов В.О., Посметьев В.И. О влиянии тягово-сцепных устройств на эффективность лесовозного автопоезда	528
Секция 6. Ресурсосберегающие и безотходные технологии в переработке древесины. Новые научные разработки, направленные на использование древесных отходов	540
Fokin S., Eskov D., Razdobarova M., Shportko O., Fomina O. On the results of the study of the energy intensity of the stump wood milling process by a conical cutter with a liquid filler / О результатах исследования энергоёмкости процесса измельчения древесины пней конусной фрезой с жидким наполнителем	540

Fokin S., Shportko O., Fomina O. On the creation of a model device for the collection of chips obtained from stumps with a conical cutter with a liquid filler / О создании модельного устройства для сбора щепы, полученной из пней, с помощью конусной фрезы с жидким наполнителем	549
Жужукин К.В., Дмитренко А.И., Ищенко Т.Л., Жужукин Н.В. Возможности применения многостенных углеродных нанотрубок для снижения эмиссии формальдегида из фанеры	558
Ивановский В.П. Исследование силовых показателей деления древесины мягких пород дисковыми ножами	564
Кораблев Р.А., Белокуров В.П., Голев А.Д., Бусарин Э.Н., Лихачев Д.В. Внутриклеточные изменения биологических объектов под действием ЭМИ	579
Кораблев Р.А., Белокуров В.П., Белокуров С.В., Бусарин Э.Н., Штепа А.А. Энергия распределения сорбата в поле сорбционных сил капиллярно-пористых древесных материалов	601
Ющенко Е.В. Современные методы улучшения качественных показателей продукции при производстве плитных материалов на примере фанеры	618
Секция 7. Внедрение IT-технологий в лесопромышленном комплексе	623
Бутко Г.П., Безрукова Т.Л., Синегубова Е.С. Новые инновационные технологии в лесопромышленном комплексе	623
Ягодкин А.С., Ачкасов А.В., Скворцова Т.В., Симоненко А.А., Нестеров И.О. Система мониторинга и оповещения о проникновении на территорию биосферного заповедника	631
Ягодкин А.С., Скворцова Т.В., Ачкасов А.В., Нестеров И.О., Симоненко А.А. Разработка системы предупреждения водителей о возможном появлении животных на автомобильных дорогах	638
Секция 8. Историография и мифология леса	644
Семенова Е.В. История развития степного лесонасаждения в Российской империи	644
Титова О.Ю. «Хозяин» леса в южнорусских мифологических нарративах	649

СЕКЦИЯ 1. ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕСОВ

DOI: 10.58168/Forestry2023_8-21

УДК 630

Брындина Л.В.¹, Арнаут Ю.², Федорова О.А.¹

¹Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж

²ФГБУ УралНИИ «Экология»

Влияние микологических и микробиологических факторов на свойства почв в целях повышения стрессоустойчивости посадочного материала для лесовосстановительных работ

Аннотация. Изучено влияние микологических и микробиологических факторов на свойства почв. В исследовании использовались сеянцы *Pinus sylvestris* L. и мицелии *Suillus bovinus* и *Suillus luteus*. Минеральная продуктивность по общему азоту, фосфору и калию установлена для микоризы *Suillus luteus*, при обработке которым также отмечено максимальное увеличение численности аммонификаторов, иммобилизаторов азота, олигоазофилов, целюлозолитических микроорганизмов, актиномицетов в почве. Обработка *Pinus sylvestris* L. микоризой *Suillus luteus* обеспечивала максимальную численность почвенных микроскопических грибов.

Ключевые слова: микоризные ассоциации, корневая система, гифы, биопрепараты, приживаемость, устойчивость, посадочный материал.

Bryndina L.V.¹, Arnaut Yu.², Fedorova O.A.¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh

²Ural Research Institute "Ecology", Moscow

The impact of mycological and microbiological factors on soil properties in order to increase the stress resistance of planting material for reforestation work

Abstract. The impact of mycological and microbiological factors on soil properties was studied. Seedlings of *Pinus sylvestris* L. and mycelia of *Suillus bovinus* and *Suillus luteus* were used. Mineral productivity for total nitrogen, phosphorus and potassium was established for the mycorrhiza *Suillus luteus*. Treatment of *Pinus*

syvestris L. with mycorrhiza *Suillus luteus* ensured the maximum number of soil microscopic fungi, the number of ammonifiers, nitrogen immobilizers, oligoazophiles, cellulolytic microorganisms, and actinomycetes in the soil.

Key words: mycorrhizal associations, root system, hyphae, biological products, survival rate, resistance, planting material.

Введение. В настоящее время искусственное лесовосстановление направлено на борьбу со стремительным сокращением биоразнообразия и глобальным климатическим кризисом. Однако, как правило, массовые посадки скорее вредны, чем полезны и целесообразны только для территорий, где активная эксплуатация наземных экосистем и сплошные рубки на больших территориях приводят к ухудшению почв, снижению количества чистой воды и пищевых ресурсов. Поэтому для того, чтобы усилия по лесовосстановлению были эффективными, важно также учитывать особенности экосистем и их состояние, влияние новых деревьев на местные сообщества.

В деградированных лесах целесообразно делать упор на естественное восстановление, а в безлесных регионах – в первую очередь на агролесоводство, где это возможно, а также на создание плантаций.

Ошибки, допущенные при производстве лесных культур, могут сделать напрасной последующую работу по выращиванию устойчивых насаждений. Успешность работ в рамках искусственного лесовосстановления зависит от соответствия экологическим условиям произрастания выбранной древесной породы и правильно выбранного способа обработки почвы. Именно правильная обработка почвы является одним из важнейших условий высокой приживаемости и высокого роста культур [1].

Искусственное лесовосстановление представляет собой деятельность, связанную с выращиванием лесных насаждений, в том числе посев, посадку саженцев, сеянцев основных лесных древесных пород, агротехнический уход за лесными насаждениями.

К основным лесным древесным породам относятся древесные породы, которые наилучшим образом отвечают условиям произрастания, экосистемным и социально-экономическим целям освоения лесов.

Лесные культуры могут создаваться из лесных растений одной основной лесной древесной породы (чистые культуры) или из лесных растений нескольких основных и сопутствующих лесных древесных и кустарниковых пород (смешанные культуры).

При этом основная лесная древесная порода выбирается из местных лесных древесных пород и должна отвечать целям лесовосстановления (сохранения полезных функций лесов, их биологического разнообразия), и соответствовать природно-климатическим условиям лесного участка.

Стоит учесть, что при выборе сопутствующих лесных древесных и кустарниковых пород следует учитывать их влияние на основную лесную древесную породу.

Создание лесных культур посевом семян допускается на лесных участках со слабым развитием травянистого покрова. Посев возможен в таежной зоне на

лесных участках с сухими песчаными и каменистыми почвами, в лесостепной и степной зонах европейской части Российской Федерации, зоне горного Северного Кавказа и горного Крыма - при создании лесных культур дуба, каштана, ореха и других пород, имеющих крупные семена. Посев применяется также в полупустынной зоне при создании лесных культур на песках.

На свежих паловых вырубках с супесчаными и хорошо дренированными суглинистыми почвами, на которых огонь вызвал полное прогорание лесной подстилки, возможно проведение искусственного лесовосстановления аэросевом. Оптимальное время аэросева семян хвойных пород - весна (апрель - по снежному покрову, первая и вторая декады мая - непосредственно после таяния снега). Допустимыми нормами высева семян первого класса сортности при аэросеве считаются: на паловых и кипрейно-паловых вырубках с обнажением поверхности почвы огнем до 70 - 80% - для сосны (1,0 кг), для ели (1,2 кг); на свежих вырубках из-под зеленомошных типов леса с минерализацией почвы более 40% - для сосны (1,5 кг), для ели (1,8 кг) на га.

На транспортно-удаленных (труднодоступных) лесных участках, на которых отсутствует возможность круглогодичного проезда, допускается проведение искусственного лесовосстановления посевом семян, в том числе аэросевом [2].

К основным проблемам при выполнении мероприятий по лесовосстановлению на территории регионов Российской Федерации в настоящее время относятся:

- недоступность лесных участков из-за погодных условий (затопление),
- ввод запрета на посещение лесов и проведение лесохозяйственных мероприятий в связи с пожарной опасностью (противопожарный сезон начинается раньше, чем лесокультурный сезон),
- неосвоение допустимого объема изъятия древесины (расчетной лесосеки) в полном объеме и, как следствие, отсутствие площадей под лесовосстановление,
- отсутствие посадочного материала собственного производства.

Условиям выращивания лесных культур в питомниках в открытом грунте следует уделять особое внимание. В ряде регионов Российской Федерации можно выделить такие проблемы как:

- неполное использование потенциала питомничьего хозяйства, в том числе нерациональное и непродуктивное использование площадей,
- незначительный состав выращиваемых пород,
- в связи со сложностями в финансировании частое отсутствие организованного полива, отсутствие современной техники, удобрений и средств защиты.

Во многом приживаемость и устойчивость посадочного материала к негативным факторам зависит от наличия питательных веществ в почве в достаточном количестве, влажность и температура воздуха и почвы, а также погодные условия. Плодородие почвы, как правило, повышается путем внесения органических и минеральных удобрений, однако на погодные условия повлиять невозможно [3]. Кроме того, отсутствие альтернативных вариантов применению

химических способов защиты лесных культур может приводить к снижению ростовых параметров и морфологических отклонениям [4].

На основании изложенного возникает необходимость в ускорении роста посадочного материала и повышения его устойчивости к патогенам и неблагоприятным условиям внешней среды произрастания путем обработки дополнительными препаратами. В поисках более эффективных и наиболее безопасных биопрепаратов на протяжении последних десятилетий активно изучается влияние микологических и микробиологических факторов на почвы и растения. Однако, воздействие различных микоризных грибов на растение неодинаково.

В настоящее время около 10 % территории Воронежской области покрыто лесами. Из лесных сообществ наибольшее распространение получили сосновые леса. Согласно литературным данным указанная древесная порода являются лесообразующими в Центрально-Черноземном районе [5, 6].

Кроме того, известно, что виды сосны обладают ярко выраженной средообразующей способностью.

К примеру, в микоризе *Pinus sylvestris* с *Suillus*, фосфор из труднодоступных соединений поглощается интенсивнее, чем при микоризе с *Amanita*. Это очень важно учитывать в практике и при приеме микоризации древесных пород. Для их лучшего развития следует подбирать такой гриб для той или иной породы, который бы оказывал на нее наиболее благоприятное воздействие.

Различная степень микотрофности древесных пород приводит к необходимости разработки отдельных методик агротехники, включая системы удобрений в лесных питомниках и взрослых насаждениях, а также изучения взаимоотношений макро- и микрофлоры и фауны с корнями растений.

Цель исследования - изучить влияние микологических и микробиологических факторов на свойства почв на примере микоризы *Pinus sylvestris* и грибов видов *Suillus bovinus*, *Suillus luteus* и их сочетания.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить специфичность сосны к различным видам грибов, подобрать наиболее перспективные для сравнительного исследования;
- оценить влияние микориз на свойства почв микоризосфер и контрольного образца;
- оценить роль внешних факторов, влияющих на развитие микоризных ассоциаций.

1. Материалы и методы исследования

1.1. Объекты исследования

Объектами исследования выбраны микоризы 1-летних сеянцев *Pinus sylvestris* L. в связи с тем, что проведенные ранее исследования подтвердили высокую микотрофность *Pinus sylvestris* L. с большим количеством видов грибов [7].

1.2. Используемые препараты микоризы

В ходе исследования влияния микоризы на сеянцы *Pinus sylvestris* L. использовались следующие препараты.

- мицелий гриба *Suillus bovinus* на зерновом субстрате;
- мицелий гриба *Suillus luteus* на зерновом субстрате;
- сочетание мицелиев видов *Suillus bovinus* и *Suillus luteus* на зерновых субстратах.

1.3. Методы почвенных исследований

Опыты проводились с апреля по октябрь 2023 года на территории Питомнического комплекса Воронежской области.

Основные исследования проводились в весенний и осенний периоды на основании литературных данных о сезонности микоризообразования. В ходе настоящего исследования сеянцы *Pinus sylvestris* L. были обработаны микоризными препаратами в апреле, а замеры и лабораторные исследования производились в конце сентября.

Был отобран однородный растительный материал. Каждым препаратом были обработаны 10 однолетних сеянцев *Pinus sylvestris* L.. В качестве грунта при выращивании сеянцев с февраля по апрель в тепличном комплексе использовался торфяной питательный субстрат ООО «Пельгорское–М», смешанный с вермикулитом в соотношении 3:1, затем в апреле все сеянцы были высажены в открытый грунт в серые лесные почвы лесостепной зоны.

Микоризные препараты были использованы на раннем этапе жизненного цикла растения в связи с тем, что ранняя обработка корней микоризой способствует повышению качества и количества микоризообразования. При посадке растений препараты были внесены в ризосферную область непосредственно в грунт не дальше 1-2 см от корня для более интенсивного образования микоризных ассоциаций, а также проливались в виде 0,001% раствора после посадки.

Общеизвестно, что микориза восстанавливает плодородие почвы, активизируя почвенную микробиоту. В ходе научных исследований также выявлено, что дефицит фосфора ускоряет развитие микоризы, а повышенное содержание азота снижает процент колонизации длины корней [8, 9].

В связи с этим, в конце сентября 2023 года были проведены исследования по оценке действия микориз на химический состав почв их микоризосферы, а также на микробное сообщество для *Pinus sylvestris* L. по стандартным методикам, описанным ниже.

Кроме того, в ходе исследования проведена оценка супрессивности почвенных образцов по подавлению почвой роста фитопатогенных грибов на примере корневой губки.

Лабораторные исследования проводились в короткие сроки, число особей позволило выполнить статистическую обработку материала.

Для каждой опытной группы было отобрано по 5 образцов почв из микоризосферной весом до 0,5 кг каждая и тщательно смешаны. Затем отбирался средний образец весом 0,5 кг и помещался в стерильный полиэтиленовый пакет с маркировкой.

Такие показатели, как рН солевой, азот обменного аммония, подвижные соединения фосфора, подвижные соединения калия были измерены по стандартным методикам: рН солевой согласно [10]; азот обменного аммония согласно пункту 7.1 [11]; подвижные соединения фосфора (P₂O₅) согласно [12] по методу Чирикова в модификации ЦИНАО; подвижные соединения калия (K₂O) согласно [12] по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.

Подготовка образцов к микробиологическому анализу для каждой опытной группы проводилась по методам, приведенным в монографии [13].

Почвы тщательно перемешивали, раскладывали тонким слоем на стекле и удаляли все включения. Все инструменты и стекло были предварительно простерилизованы. Отдельно для каждой опытной группы были отобраны небольшие порции из разных участков равномерно распределенной на стекле почвы и взвешены в фарфоровой чашке на технических весах по 1 г среднего образца. После подготовки образцов пробы подвергались специальной обработке. В простерилизованную колбу заливалось 100 см³ водопроводной воды, вторая колба оставлялась пустой. Небольшим количеством воды увлажнялась навеска почвы и растиралась в течение 5 мин до пастообразного состояния. Затем стерильной водой из первой колбы растертая масса переносилась в пустую колбу с использованием всего объема воды. Почвенная суспензия встряхивалась на качалке в течение 5 мин. После того, как оседали крупные частицы, суспензия использовалась для разведений. В полученной исходной суспензии почва разведена в 100 раз. В ходе разведения использовался постоянный коэффициент разведения в целях снижения вероятности ошибки. В нашем случае были выбраны десятичные разведения, для приготовления каждого из которых обязательно использовалась отдельная простерилизованная пипетка.

Посев суспензии на плотные агаризованные среды в чашки Петри с последующим подсчетом выросших колоний производился по методу Коха. Такой метод позволяет определить количество жизнеспособных организмов в почве, а также их разнообразие по морфологии колоний.

В ходе эксперимента были приготовлены среды КАА, Эшби, Чапека, МПА (мясо пептонный агар) по 250 см³ каждая. Состав сред Чапека, КАА, Эшби приведен в таблице 1. Среда была разлита в 60 чашек Петри сразу после приготовления и оставлена на горизонтальной поверхности до застывания агара. Посев разведенной в 100 раз суспензии в объеме 0,2 см³ проводился стерильной пипеткой и распределялся стеклянным шпателем.

Таблица 1 – Составы сред для микробиологических анализов

Чапека			
KCl	0,125 г	FeSO4	следы
MgSO4	0,125 г	сахароза	7,5 г
KH ₂ PO ₄	0,25 г	агар	5 г
KNO ₃	0,5 г		
КАА			
K ₂ HPO ₄	0,25 г	CaCO ₃	0,75 г
NaCl	0,25 г	Крахмал	2,5 г (отдельно)
MgO ₄	0,25 г	агар	5 г
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,5 г		
Эшби			
KH ₂ PO ₄	0,025 г	CaCO ₃	1,25 г
NaCl	0,05 г	сахароза	5 г
MgSO ₄	0,05 г	агар	5 г
K ₂ HPO ₄	0,05 г		

Кроме того, в ходе микробиологического исследования предварительно был рассчитан коэффициент влажности почвы для всех образцов (таблица 2).

Таблица 2 - Определение влажности почвы

Образец	Вес сырой с бюксом, г	Вес сухой с бюксом, г	Вода, см ³	Вес бюкса, г	Сухая навеска, г	Влажность, %	Кэфф. Пересчета, ед.
Контроль	34,63	34,40	0,23	24,33	10,11	1,80	0,98
<i>Suillus bovinus</i>	37,91	36,48	1,43	27,48	9,00	13,7	0,88
Смесь <i>Suillus bovinus</i> + <i>Suillus luteus</i>	37,76	36,87	0,89	27,76	9,11	8,90	0,91
<i>Suillus luteus</i>	35,51	34,81	0,70	25,15	9,66	6,80	0,93

2. Результаты исследования

В ходе микробиологического исследования были рассчитаны количества колоний аммонификаторов, иммобилизаторов азота, олигоаэрофилов, актиномицетов и микроскопических грибов.

В рамках эксперимента выявлено, что эффективное действие микориз *Pinus sylvestris* L. связано с активным выделением бактериями метаболитов, сдерживающих бактериальные патогены и производством ростостимулирующих веществ, а также с более интенсивным поступлением в растения биологически активных соединений. Также было установлено, что в микробиологических процессах участвуют различные физиологические группы бактерий, актиномицетов родов *Streptomyces* и *Streptoverticillium* и микроскопических грибов родов *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*.

Отмечено, что внесение микоризных препаратов в большинстве случаев активизировало рост почвенных микроорганизмов, положительно влияющих на микробиологическую активность почвы.

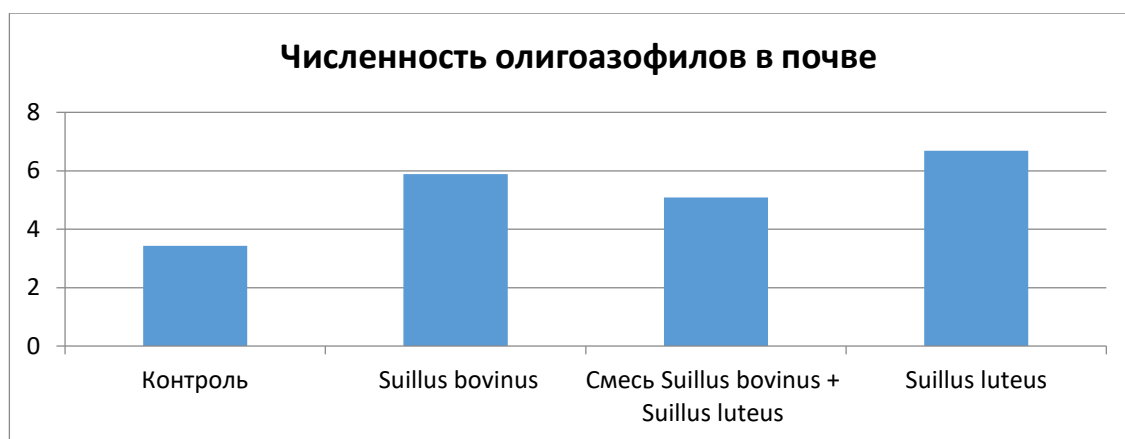


Рисунок 1 - Влияние интродукции микоризы в агроценоз сосны на численность олигозафилов в почве

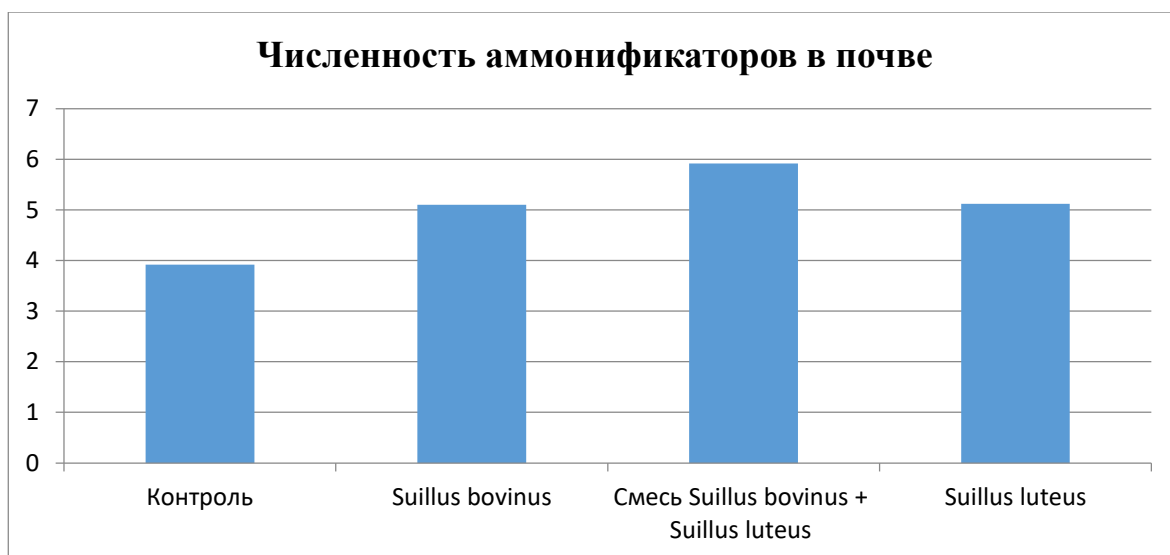


Рисунок 2 - Влияние интродукции микоризы в агроценоз сосны на численность аммонификаторов в почве

При применении мицелия *Suillus luteus* численность олигозафилов в почве превысила контрольную в 2,1 раз и составила 7,2 млн КОЕ/1 г а.с.п. (в контроле – 3,5). В свою очередь довольно эффективным оказался и *Suillus bovinus*, увеличивший контрольные показатели в 1,9 раз. Меньшая разница по численности олигозафилов с контрольным образцом отмечена при применении смеси данных видов грибов (рисунок 1).

Вместе с тем, внесение смеси *Suillus bovinus* и *Suillus luteus* способствовало наиболее активному росту численности аммонификаторов в почве в 1,6 раза по сравнению с контролем. Рост численности данной группы бактерий свидетельствует об усилении процесса аммонификации и минерализации поступающих в почву органических соединений (Рисунок 2).

Значительный рост численности аммонификаторов в почве отмечен у примененных по отдельности *Suillus bovinus* и *Suillus luteus*. Показатели данных образцов превысили контрольные в 1,45 и 1,37 раз соответственно (Рисунок 2).

Численность иммобилизаторов азота при внесении микоризы *Suillus bovinus* в почву превосходила показатель контрольного варианта в 1,7 раз что, по-видимому, связано с более активным потреблением минеральных форм азота растущим растением сосны под влиянием внесения микоризы данного вида гриба (рисунок 4). Эти результаты коррелируют с результатами почвенного анализа, свидетельствующими об уменьшении количества азота в почве на 0,3 мг/кг (таблица 9).

Внесение в почву *Suillus bovinus* и *Suillus luteus* способствовало значительному росту численности diaзотрофов в почве (в 7,5 и 8,5 раз соответственно по сравнению с контролем), что в свою очередь положительно влияет на численность доступного для усвоения растением азота.

Более высокая численность актиномицетов в почве на опытных участках во всех вариантах опыта свидетельствует о повышении защитного барьера в отношении фитопатогенных микроорганизмов, поскольку большинство штаммов актиномицетов являются продуцентами антибиотически активных веществ (Рисунок 5).

Внесение в почву *Suillus bovinus* и смеси *Suillus bovinus* и *Suillus luteus* способствовало значительному росту численности актиномицетов (в 5,5 и 5 раз соответственно по сравнению с контролем). Наименьший рост отмечен у *Suillus luteus*, превысившей контрольные показатели в 3 раз.

Увеличение численности микроскопических грибов в 1,5 раза в варианте *Suillus luteus* связано увеличением численности доступного для усвоения азота, поставляемого аммонификаторами и diaзотрофами. (рисунок 6).

Таким образом, внесенные в почву комбинации микориз в форме суспензии вступают в сложные взаимоотношения с представителями различных трофических групп почвенных микроорганизмов, активизируя процессы, происходящие с их участием. Изменения, вызванные применением данных культур в микробном сообществе, оказали положительное влияние на минеральный состав почв.

При обработке *Pinus sylvestris* L. препаратами *Suillus bovinus* и смеси *Suillus bovinus* и *Suillus luteus* достоверно происходило снижение минеральной продуктивности по азоту на 8,4% и 2,8% соответственно, а *Suillus luteus* увеличили долю общего азота на 21,8% (таблица 3).

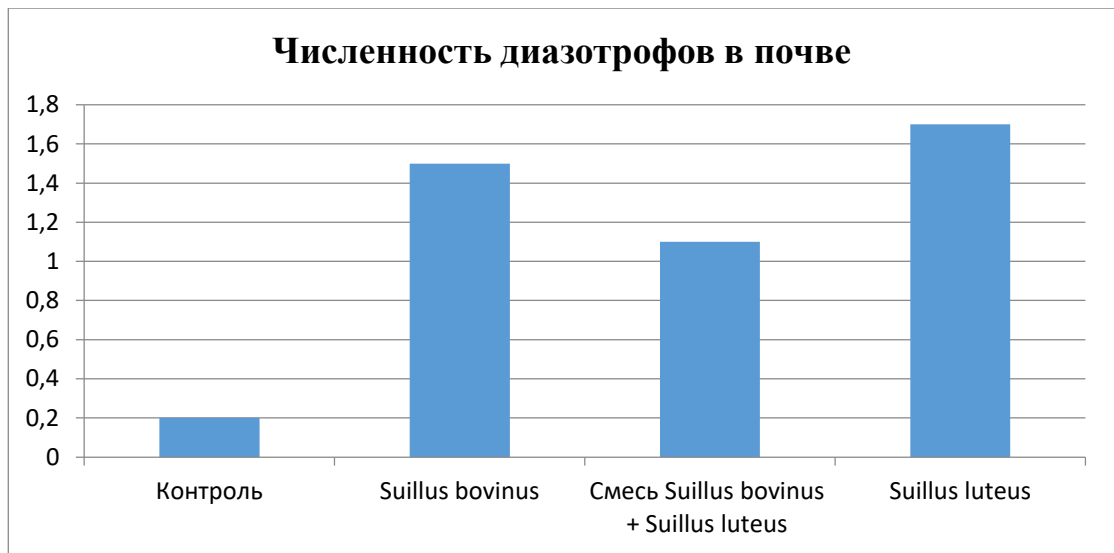


Рисунок 3 - Влияние интродукции микоризы в агроценоз сосны на численность diaзотрофов в почве

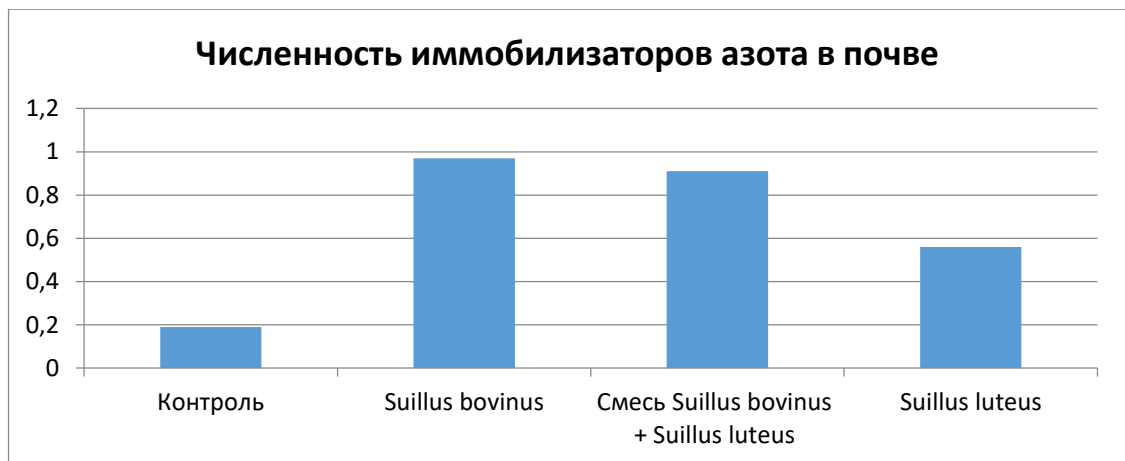


Рисунок 4 - Влияние интродукции микоризы в агроценоз сосны на численность иммобилизаторов азота в почве

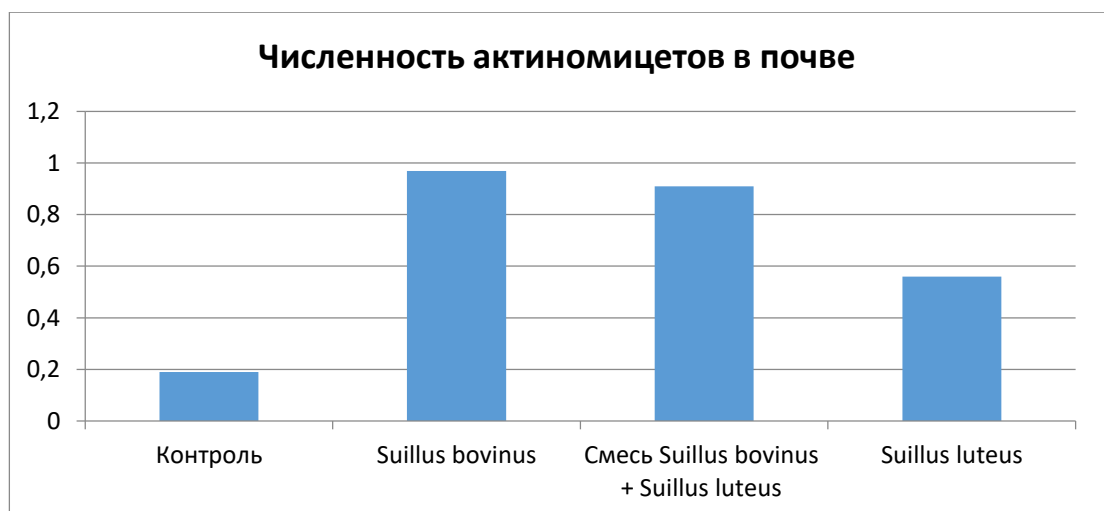


Рисунок 5 - Влияние интродукции микоризы в агроценоз сосны на численность актиномицетов в почве

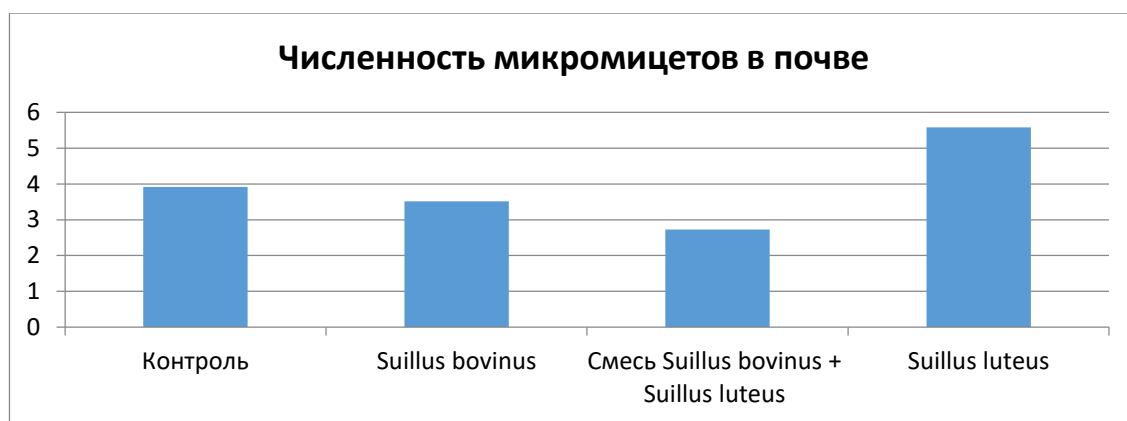


Рисунок 6 - Влияние интродукции микоризы в агроценоз сосны на численность микромицетов в почве

Накопительная способность микоризообразующих грибов по отношению к фосфору отмечена в образцах *Suillus bovinus* и *Suillus luteus* (табл.3). Содержание подвижных форм фосфора в почве во всех экспериментах, кроме смеси *Suillus bovinus* и *Suillus luteus*, было выше контроля. Возможно, накопительные свойства грибов по фосфору в большей степени зависят от органического вещества, чем от его непосредственного содержания в почве [14].

При исследовании миграции калия в системе «почва-грибы» выявлено стабильное накопление этого макроэлемента в опытах с *Suillus luteus* (39,2%), Смесь *Suillus bovinus* + *Suillus luteus* (10,9%). Обработка *Suillus bovinus* не эффективна для роста подвижных соединений калия (таблица 3).

Таблица 3 - Результаты измерений основных почвенных показателей

Наименование показателей, размерность	Результаты измерений, точность измерений			
	Контроль	<i>Suillus bovinus</i>	Смесь <i>Suillus bovinus</i> + <i>Suillus luteus</i>	<i>Suillus luteus</i>
рН солевой, ед. рН	4,72 ± 0,08	4,75 ± 0,08	4,68 ± 0,08	4,89 ± 0,08
подвижные соединения фосфора (P ₂ O ₅), мг/кг	116 ± 12	139 ± 14	108 ± 11	154 ± 16
подвижные соединения калия (K ₂ O), мг/кг	90 ± 11	91 ± 11	101 ± 8	148 ± 12
Азот обменного аммония, млн ⁻¹ , мг/кг	3,6 ± 0,5	3,3 ± 0,4	3,5 ± 0,4	4,6 ± 0,6
Нитратный азот, млн ⁻¹ , мг/кг	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,1	3,6 ± 0,9

Основываясь на данных приведенных в таблице 3, можно сделать вывод, что срок микоризообразования, а следовательно, и влияние микоризы на химический состав почв более продолжителен, так как некоторые показатели варьируют незначительно. Однако, это может быть и по причине внешних факторов, таких как достаточная увлажненность и количество питательных веществ в почве, так как в целом у различных древесных пород в неблагоприятных условиях внешней среды микоризные ассоциации развиваются более интенсивно [15].

Выводы

1. В ходе настоящего исследования высокий симбиотический потенциал *Pinus sylvestris* L. был отмечен и с *Suillus bovinus*, и *Suillus luteus*. На раннем этапе микоризообразования приживаемость сеянцев *Pinus sylvestris* L. при использовании микоризных препаратов не значительно превысила контрольные показатели.

2. Минеральная продуктивность по общему азоту, фосфору и калию у *Pinus sylvestris* L. установлена для микоризы *Suillus luteus*.

3. При обработке *Pinus sylvestris* L. микоризой *Suillus luteus* отмечено максимальное увеличение численности аммонификаторов, иммобилизаторов азота, олигоаэрофилов, целлюлозолитических микроорганизмов, актиномицетов в почве.

4. Обработка *Pinus sylvestris* L. микоризой *Suillus luteus* обеспечивала максимальную численность почвенных микроскопических грибов.

5. Отнесение микоризных ассоциаций к альтернативе химических удобрений не корректно, так как соответствующие микроорганизмы могут вноситься в несвойственные им условия, при которых вместе с неблагоприятными химическими и физическими факторами будут наблюдаться ярко выраженные антагонистские отношения с различными группами микрофлоры.

6. Развитие микоризных грибов наблюдается в условиях определенных биоценозов, следовательно, на территориях где совсем не росли, либо длительное время не росли соответствующие древесные породы целесообразна не только инокуляция сеянцев грибами, но и создание условий, подходящих для приживаемости выбранных грибов и активному развитию микоризных ассоциаций. **Список литературы**

1. Павлов И.Н. Создание культур в санитарно-защитной зоне Аллюминиевых заводов Средней Сибири: Автореф. дис. канд. с.-х. наук. - Ленинград: ЛТА. - 1989. - 20 с.
2. Приказ Минприроды России от 29.12.2021 № 1024 «Об утверждении правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления».
3. Крылова А.А. Оценка деятельности лесных питомников Самарской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2019. - № 54. - С. 28-32.

4. Стеценко С. К., Терехо Г. Г., Андреева Е. М. Влияние пестицидов на морфологию сеянцев сосны в лесных питомниках: прошлое и настоящее // Научно-агрономический журнал. - 2022. – № 3. - С. 65-69
5. Read D. J., Leake J. R., Perez-Moreno J. Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes // Can. J. Bot. - 2004. - № 82. - P. 1243-1263.
6. Тырченкова И. В. Особенности лесовосстановления на вырубках и гарях в Сомовском лесничестве Воронежской области // Лесотехнический журнал. Т.7. - 2017. - № 3. - С. 157-166.
7. Рейнер М., Нелсон-Джонс В. Роль микориз в питании деревьев.- М.: Издательство иностранной литературы, 1949. – 235 с.
8. Швартау В.В., Гуляев Б.И., Карлова А.Б. Особенности реакции растений на дефицит фосфора // Физиология и биохимия культурных растений. - 2009. - № 41. - С. 208–212.
9. Hodge A., Fitter A. H. Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. - 2010. - № 107. - P.13754-13759.
- 10.ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М., 1985, 6 с.
- 11.ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. – М., 1985, 5 с.
- 12.ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М., 1992. 8 с.
- 13.Звягинцев Д.Г. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. - М.: изд-во МГУ, 1973 – 176 с.
- 14.Дроздов Д.Н., Кожедуб Т.И. Накопление фосфора микоризообразующими грибами на дерново-подзолистых почвах с разной кислотностью // Вестник Казанского технологического университета. - Т. 19. – 2016. - № 6. - С. 145-148.
- 15.Allen, M. F. Ecology of vesicular–arbuscular mycorrhizae in an arid ecosystem: use of natural processes promoting dispersal and establishment // Mycorrhizae Decade Practical Applications and Research Priorities 7th NACOM IFAS / Gainesville, 2018. - P. 133-135.

References

1. Pavlov I.N. Creation of crops in the sanitary protection zone of Aluminum smelters in Central Siberia: Author's abstract. dis. Ph.D. agricultural Sci. - Leningrad: FTA. - 1989. – 20 с. [in Russian]
2. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 29.09.2021 # 1024 «On approval of the rules of reforestation, form, composition, procedure for approving a reforestation project, grounds for refusing its approval, as well as requirements for the format in electronic form of a reforestation project» [in Russian]

3. Krylova A.A. Assessment of the activities of forest nurseries in the Samara region // Current problems of the forestry complex. – 2019. – № 54. - P. 28-32 [in Russian]
4. Stetsenko S.K., Terejo G.G., Andreeva E.M. The influence of pesticides on the morphology of pine seedlings in forest nurseries: past and present // Scientific-Agronomic Journal. - 2022. – № 3. - P. 65-69 [in Russian]
5. Read D.J., Leake J.R., Perez-Moreno J. Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes // Can. J. Bot. - 2004. - № 82. - P. 1243-1263
6. Tyrchenkova, I.V. – Features of reforestation in clearings and burnt areas in the Somovsky forestry of the Voronezh region // Forestry Journal. V.7. - 2017.- № 3. - P. 157-166 [in Russian]
7. Rayner M., Nelson-Jones W. The role of mycorrhizae in the nutrition of trees. - M.: Foreign Literature Publishing House, 1949. – 235 p. [in Russian]
8. Shvartau V.V., Gulyaev B.I. and Karlova A.B. Features of plant response to phosphorus deficiency // Physiology and biochemistry of cultivated plants. - 2009. - № 41(3). - P. 208–212 [in Russian]
9. Hodge A., Fitter A.H. Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. - 2010. - № 107. - P. 13754-13759
10. GOST 26483-85. Soils. Preparation of a salt extract and determination of its pH using the method of CSRIAS. - M., 1985, 6 p. [in Russian]
- 11.[GOST 26489-85. Soils. Determination of exchangeable ammonium by method of CSRIAS. – M., 1985, 5 p. [in Russian]
- 12.GOST 26204-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium using the Chirikov method modified by CSRIAS. - M., 1992. 8 p. [in Russian]
- 13.Zvyagintsev D.G. Interaction of microorganisms with solid surfaces. - M.: publishing house of MSU, 1973 – 176 p. [in Russian]
14. Drozdov D.N., Kozhedub T.I. Accumulation of phosphorus by mycorrhiza-forming fungi on sod-podzolic soils with different acidity // Bulletin of the Kazan Technological University. - V. 19. – 2016. - № 6. - P. 145-148 [in Russian]
- 15.Allen, M.F. Ecology of vesicular–arbuscular mycorrhizae in an arid ecosystem: use of natural processes promoting dispersal and establishment // Mycorrhizae Decade Practical Applications and Research Priorities 7th NACOM IFAS / Gainesville, 2018. - P. 133-135

Веретенников В.В.

*ОКУ «Красногвардейское лесничество»
Министерства природопользования
Белгородской области*

Состояние дубрав Белгородской области

Аннотация. В статье рассматривается вопрос потери дубравами своих ранее приобретенных свойств и качеств. Представляя собой уникальные экосистемы и имея особо ценное значение, дубравы Российской Федерации подвергаются большому антропогенному воздействию. Увеличение случаев резких колебаний климатических факторов, накопление спелых и перестойных насаждений, частые вспышки болезней и вредителей усиливают деграционные процессы. Несмотря на мировое признание существующей проблемы, проведение большого количества исследований, процесс деградации дубрав не удается остановить.

Приводится общая характеристика дубрав Белгородской области. Устанавливаются основные показатели, характеризующие объект исследования. Проводится анализ изменения таксационных показателей в дубовых насаждениях.

Скорость развития сукцессионных процессов и ограничения в использовании дубрав субъекта приводят к необходимости комплексного обследования дубрав Белгородской области и определения комплекса лесохозяйственных мероприятий.

Ключевые слова: дуб, деградация, высокоствольный и низкоствольный дуб, климатические факторы, антропогенное воздействие, исследование

Veretennikov V.V.

*RSI "Krasnogvardeyskoe forestry"
Ministry of Environmental Management
Belgorod region*

The state of the oak forests of the Belgorod region

Abstract. The article deals with the issue of loss of oak forests of their previously acquired properties and qualities. Representing unique ecosystems and having a particularly valuable value, oak forests of the Russian Federation are exposed to a large anthropogenic impact. An increase in cases of sharp fluctuations in climatic factors, the accumulation of ripe and over-ripe plantings, frequent outbreaks of diseases and pests increase degradation processes. Despite the worldwide recognition of the

existing problem, the conduct of a large number of studies, the process of degradation of oak forests cannot be stopped.

The general characteristics of the oaks of the Belgorod region are given. The main indicators characterizing the object of research are established. The analysis of changes in taxation indicators in oak plantations is carried out.

The speed of development of succession processes and restrictions in the use of oak forests of the subject lead to the need for a comprehensive survey of oak forests of the Belgorod region and the definition of a set of forestry measures.

Key words: oak, degradation, high-stemmed and low-stemmed oak, climatic factors, anthropogenic impact, research

Введение

Дуб в лесостепи Российской Федерации выполняют важнейшую защитную функцию. Несмотря на скромную долю в площади лесов страны (0,9% по состоянию на 01.01.2021г.) дубравы являются старейшим видом биogeоценоза, образовавшийся на границе степи и леса. По данным Рослесинфорга в 2021 году площадь дубрав увеличилась за год на 33,2 тыс. га. Площадь, продуктивность и хозяйственное значение дубовых лесов по регионам РФ различны. Считается, что наиболее высокопродуктивные дубравы Центрально–Черноземного региона произрастают в Белгородской, Воронежской и Курской областях.

Массовая гибель и деградация дубрав отмечается по всему ареалу дуба. В Европе, Средней Азии и США ученые описывают данный процесс с XIX века.

Более активно процесс деградации дубрав освещен лесоведами в XX столетии. Выделено несколько периодов массового усыхания дубрав в европейской части России: I - с 1927 г. по 1930-е годы; II- в 1940 – 1942 годы; III - 1966 – 1969 годы.

С конца 1970-х годов началась очередная волна усыхания дубрав и продолжается, с затуханиями в отдельных районах, до нашего времени (12, с. 1).

Сокращению площади дубрав способствовала и хозяйственная деятельность человека. «Дуб в Тульских засеках славится своим высоким качеством, а между тем, количество его убывает в несравненно больших размерах», - писал М.К. Турский в 1884г. (5, с. 21). В.О. Ключевский в «Курсе русской истории» отмечал: «Тяжелая работа топором и огнем, какую заводилось лесное хлебопашество на пали, расчищенной из-под срубленного и спаленного леса, утомляла, досаждала. Этим можно объяснить недружелюбное или небрежное отношение русского человека к лесу» (11, с.1). Озабоченность вырубкой лучших экземпляров дуба высказывал М.М. Орлов: «В насаждениях Тульских засек немного дуба, большой доход от которого обуславливается высокой ценой дубовой древесины и качеством которой, однако, с течением времени все падает. Теперь показывают на лесосеке, как феномен, безукоризненный 8-аршинный кряж диаметром в верхнем отрубе 20 вершков, тогда как, говорят, не так давно он не возбудил бы общего внимания и не был бы редкостью».

Антропогенное воздействие не является первопричиной деградации дубрав; резкие колебания климатических факторов, особенности биологии дуба способствуют процессу деградации дубрав.

Многие ученые страны изучали данную проблему: Г.Ф. Морозов, А.П. Молчанов, В.Д. Огиевский, Г.Н. Высоцкий, М.Е. Ткаченко, А.В. Тюрин, В.И. Иванов, В.Б. Лукьянец, И.М. Науменко, О.Г. Каппер, Н.П. Кобранов, М.С. Чернобровцев, А.А. Молчанов, М.М. Вересин, А.Д. Дударев, В.И. Таранков, В.А. Бугаев, Е.Г. Гнатенко, А.Д. Лозовой, В.Д. Новосельцев, Н.П. Калининченко, А.М. Шутяев, Н.А. Харченко, В.В. Царалунга, С.М. Матвеев, Н.Н. Харченко и многие другие.

С середины XX века на Белгородчине прослеживается тенденция к усыханию дуба (6, с. 1). Этому способствует ряд факторов, взаимно дополняющих друг друга.

Материалы и методы

Белгородская область расположена в южной части Восточно-Европейской равнины, на юго-западных склонах Среднерусской возвышенности. Всклощенные приподнятые равнины преобладают в рельефе. Вся территория области сильно расчленена овражно-балочной сетью, начало формирования которой относят к раннему неогену; особо овраги развиты в восточной и юго-восточной части региона. В местах выходов меловых пород распространены карстовые формы рельефа (6, с.1).

Территория области включает лесостепную и степную почвенные зоны, в которую входит небольшая юго-восточная часть. По лесорастительному районированию лесничества области отнесены к лесостепной зоне, лесостепному району. Растительность лесостепи области представлена в основном разнотравными степями и дубравами: наиболее характерны междуречные, нагорные, пойменные и байрачные. Лесистость составляет 8,7% (8, с. 173). Леса расположены на территории региона неравномерно; большей сетью представлены отдельными участками различного размера: лесные дачи, урочища, колки. В ведении министерства природопользования Белгородской области находится около 2,2 тысяч отдельных обособленных участков леса (контуров), неравномерно размещенных по территории.

Наиболее крупные лесные массивы области (от 2 до 10 тыс. га) расположены в Шебекинском, Валуйском, Красногвардейском районах и Старооскольском городском округе и приурочены к рекам: Оскол, Короча, Нежеголь, Валуй, Тихая Сосна и их притокам. Губкинский городской округ, Прохоровский, Вейделевский и Ровеньский районы не имеют значительных по площади лесных массивов и представлены относительно мелкими урочищами и колками (2, с. 249).

Общая площадь лесов составляет 248,8 тыс. га (8, с. 173). За министерством природопользования закреплено 230,9 тыс. га, за ФГБУ «Государственный природный заповедник «Белогорье» - 2,1 тыс. га. Земли обороны и безопасности занимают площадь 1,2 тыс. га, земли иных категорий – 7,8 тыс. га, а земли населенных пунктов, на которых расположены леса – 6,8 тыс. га.

Весь лесной фонд отнесен к защитным лесам и подразделяется на противозерозионные леса (68,7%), леса лесопарковых зон (17,6 %), леса, имеющие научное или историческое значение (0,3%), леса, расположенные в водоохраных зонах (1,5%), защитные полосы, расположенные вдоль железнодорожных и автомобильных дорог (0,3%), леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях (11,6%).

Площадь земель, занятых лесными насаждениями (покрытые лесной растительностью) – 221,7 га.

Общий запаса древесины в лесном фонде составляет 49,07 млн. м³, в том числе спелой и перестойной - 8,57 млн. м³ (17,5%). Средний запас на 1 га – 221 м³.

В составе земель, занятых лесными насаждениями, преобладают твердолиственные породы (184,9 тыс. га или 83,4% от покрытой лесной растительностью площади). Дуб черешчатый доминирует по площади – 162,4 тыс. га и по запасу – 36,66 млн. м³. При этом дуб высокоствольный составляет 76,9% площади дубрав. Дуб высокоствольный семенного происхождения образует насаждения III и выше классов бонитета, дуб низкоствольный семенного происхождения – IV и ниже. Дуб высокоствольный порослевого происхождения образует насаждения II и выше классов бонитета, дуб низкоствольный порослевого происхождения – III и ниже.

Дуб черешчатый в твердолиственной хозяйственной секции имеет основную долю – 87,8%. Согласно форме 5-ГЛР (по состоянию на 1 января 2023 года) более половины (54,5%) спелых и перестойных твердолиственных насаждений имеют полноту 0,7; с полнотой 0,6 встречается 26,5%. Высокополнотные насаждения занимают площадь 3,6 тыс. га или 13,6% в данной категории. Подобное соотношение сохраняется в целом по хозяйственной секции и в других группах возраста.

Средний возраст дуба высокоствольного – 81 год, низкоствольного – 73 года. При этом низкоствольных молодняков I и II классов возраста нет. Спелые и перестойные низкоствольные дубовые насаждения в два раза превышают по площади высокоствольные (16,7 тыс. га и 8,2 тыс. га соответственно). Перестойные выделены только в низкоствольных дубравах и занимают площадь 2,0 тыс. га.

Преобладание в лесном фонде средневозрастных дубрав (51% от общей площади дубовых насаждений) свидетельствует об интенсивном использовании лесов области в прошлом столетии. Примерно до середины 50-х годов XX в. заготовка древесины велась с перерубами расчетных лесосек. Примерно с 1960-х годов объемы заготовки стабилизировались в пределах расчетных лесосек (в среднем 125,0 тыс. м³ ликвидной древесины в год по главному пользованию и 150 тыс. м³ по промежуточному пользованию) (2, с.255).

Соотношение I и II классов возраста дуба (2,2 тыс. га и 5,4 тыс. га соответственно) говорит об уменьшении площади рубок, в результате проведения которых возникает лесокультурный фонд. Большая часть дубовых молодняков I класса возраста создана в процессе лесоразведения на землях лесного фонда.

В целях успешного восстановления и создания новых дубрав особое внимание должно уделяться способам и приемам работы в них, ведения популяционного семеноводства с учетом биоразнообразия дуба и разнообразия условий его выращивания (5, с. 4).

Базой для организации лесного семеноводства на генетико-селекционной популяционной основе являются лучшие естественные или искусственные насаждения (1, с. 35).

В лесном фонде Белгородской области аттестовано 153 плюсовых дерева дуба черешчатого, 30 ПЛСУ площадью 252,3 га, 2 лесных генетических резервата (288 га) (1, с. 36).

Типичным представителем хорошо сохранившейся нагорной дубравы является участок ФГБУ «Государственный природный заповедник «Белогорье» - «Лес на Ворскле» в Борисовском районе. Участки 250 – 300 летней дубравы занимают площадь 160 га.

Санитарное состояние дубовых насаждений является объективным показателем их деградации (4, с. 360). Площадь повреждения дубрав региона установлена по данным ДЗЗ, сигнализации и наземных обследований специалистами филиала ФБУ «Рослесозащита» - «ЦЗЛ Воронежской области».

Таблица 1 - Площадь повреждения и наличие очагов в дубравах по состоянию на 01.01.2023 г.

№ п/п	Наименование вредителя/болезни	Площадь повреждения, га	Площадь очагов, га
1.	Стволовые вредители	11,0	-
2.	Пяденица зимняя	101,4	-
3.	Пяденица-обдирало	451,2	-
4.	Мучнистая роса	25,9	-
5.	Микоз сосудистый дуба (трахеомикоз)	2584,7	142,5
6.	Рак дуба поперечный	1908,2	-
7.	Бактериальные заболевания	3556,7	-
8.	Опенок осенний	25275,2	10401,0
9.	Трутовик ложный дубовый и дубоволюбивый	3212,9	218,0
10.	Трутовик настоящий	2,3	-
11.	Некрозно-раковые заболевания ветвей	419,8	-
12.	Некрозно-раковые заболевания стволов	172,1	-
13.	Гнили стволовые	3375,6	-
14.	Повреждение пожарами старше 10 лет	497,4	-
15.	Ветровал и бурелом (ураганы)	101,3	-
16.	Засуха	385,7	-
17.	Изменение уровня грунтовых вод	703,05	-
18.	Неблагоприятные условия произрастания	11,8	-
19.	Погодные условия	114,9	-
20.	Морозы	1,4	-
21.	Загрязнение	3,7	-
22.	Отсутствие уходов	16,0	-
23.	Несвоевременное проведение лесохозяйственных мероприятий	170,7	-
24.	Межвидовая конкуренция	467,6	-
25.	Внутривидовая конкуренция	421,8	-
26.	Накопление естественного опада в недоступных местах	118,4	-
	Итого:	44110,75	10761,5

Из табл. 1 видно, что дубравы с повреждением составляют 27% от их общей площади; очаги - 7%. Требуется проведение санитарно-оздоровительных мероприятий в очагах опенка осеннего на площади 2574,7 га, ложного дубового трутовика- 51,5 га. Паразиты из рода опенок способны выступать в роли опасных вторичных патогенов, ускоряющих гибель ослабленных деревьев дуба (3, с 451).

Не отмечено площадей с повреждением зеленой дубовой листоверткой. В лесничествах юго-восточной части области отмечено появление краснохвоста или шерстолапки стыдливой (лат. *Calliteara pudibunda*). Последний раз вспышка вредителя фиксировалась в 2017 году.

В сентябре текущего года массовое распространение получило повреждение дубрав во всех без исключения лесничествах орехотворкой виноградообразной (лат. *Neuroterus quercusbaccarum*).

Результаты

В Белгородской области высокоствольные дубравы являются средневозрастными, низкоствольные – приспевающими. Спелых и перестойных низкоствольных дубрав в два раза больше, чем высокоствольных. Перестойные насаждения представлены только низкоствольными насаждениями. Увеличение площади земель, покрытых лесной растительностью, и значительное увеличение площади дуба высокоствольного происходит за счет перевода лесных культур дуба в земли, занятые лесными насаждениями (покрытые лесной растительностью), и проведением лесоустройства в 2022 году.

Средний бонитет твердолиственных пород – II и выше (77% от их площади). В спелых и перестойных насаждениях средний бонитет – III (59%), 4% представлены IV бонитетом. Насаждений с V и Va бонитетами нет.

Высокополнотные твердолиственные насаждения составляют 20% от общей площади, с древостой с полнотой 0,7 – 60% (103,5 тыс. га). Низкополнотные составляют 1% (2,0 тыс. га).

Средний состав лесного фонда Белгородской области, исходя из данных государственного лесного реестра на 1 января 2016 года, составляет:

5,6Дв 2,0Дн 1,0С 0,5Я 0,3Ос 0,2Кл 0,2Олч 0,1Б 0,1Лип + В, Ив, Т, Аб или
6 Дв 2 Дн 1С 1Я + Ос, Кл, Олч, Б, Лип, В, Ив, Т, Аб.

Анализ динамики средних таксационных показателей за 9 лет, свидетельствует, что в лесном фонде произошли следующие изменения:

- увеличение среднего возраста дуба высокоствольного на 9 лет (с 72 до 81 лет);
- увеличение среднего возраста дуба низкоствольного на 18 лет (с 55 до 73 лет);
- увеличение среднего запаса древесины спелых высокоствольных насаждений (с 0,58 до 2,27 млн. м³);
- увеличение среднего запаса древесины спелых и перестойных насаждений дуба низкоствольного (с 1,46 до 3,55 млн. м³);
- увеличение общего среднего прироста дуба высокоствольного (с 0,31 до 0,40 млн. м³) и уменьшение общего среднего прироста дуба низкоствольного (0,17 до 0,10 млн. м³).

Обсуждение

Основной лесообразующей породой Белгородской области является дуб черешчатый. Естественные дубовые насаждения преимущественно являются порослевыми; в высокоствольную хозсекцию входят древостои, обладающие лучшей производительностью. Естественные семенные дубравы остались в небольшом количестве.

Увеличение среднего возраста насаждений за последние 10 лет произошло вследствие естественного перехода древостоев из одного класса возраста в другой; увеличение среднего запаса древесины спелых и перестойных насаждений произошло вследствие недостаточного освоения расчетной лесосеки.

Средний возраст дуба (81 год высокоствольного и 73 года низкоствольного) свидетельствует об интенсивном использовании дубрав в первой половине прошлого века. Небольшие площади лесных культур того времени, сохранившихся до наших дней, свидетельствуют о сложности выращивания искусственных насаждений в связи с биологическими особенностями дуба, высокими затратами на выращивание лесных культур.

Увеличение случаев резких изменений климатических факторов, накапливание спелых и перестойных насаждений, их санитарное состояние, несвоевременное проведение (местами и некачественное) лесохозяйственных мероприятий усиливают деградиционные процессы в дубравах.

При планировании лесохозяйственных мероприятий в дубравах большое значение имеет информация, полученная при проведении лесоустройства. Лесоустроительные работы в 14 лесничествах области проводились в 2013-2015гг., а в 7-ми – в 2022г. Общие сведения, включенные в лесной план субъекта, имеют давность 8-10 лет.

На территории Белгородской области насчитывается 314 особо охраняемых природных территорий на площади 301106,9391 га, в том числе 10 природных парков, 179 государственных природных заказников, 107 памятников природы, 2 дендрологических парка, 1 ботанический сад и 15 государственных природных комплексных (ландшафтных) заказника (10, с. 1).

В результате проведения лесоустроительных работ на землях лесного фонда в 7 лесничествах была выделена новая для субъекта категория защитных лесов - леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях.

Статьей 114 частью 3 Лесного кодекса в лесах, расположенных на территориях национальных парков, природных парков и государственных природных заказников, запрещается проведение сплошных рубок лесных насаждений, если иное не предусмотрено правовым режимом функциональных зон (7, с. 1).

Приказом Рослесхоза от 27 января 2023 года № 43 «Об отнесении лесов к защитным лесам и установлении их границ, о выделении особо защитных участков лесов и установлении их границ на территории Красногвардейского лесничества Белгородской области и о внесении изменения в приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 13.02.2017 №56» была увеличена

площадь особо защитных участков «Участки лесов вокруг сельских населенных пунктов и садовых товариществ» (8, с. 1).

Только в одном Красногвардейском лесничестве, таким образом, 22,3% площади относится к особо защитным участкам лесов; 66,3% - к лесам, расположенным на особо охраняемых природных территориях.

Учитывая современную динамику изменений климатических факторов, увеличение площади спелых и перестойных насаждений, появляющихся повреждений вредителями и болезнями, ограничениями в проведении различных лесохозяйственных мероприятий необходимо провести комплексное обследование дубрав области на примере нескольких лесничеств.

Заключение

В Алексеевском, Валуйском, Красненском, Красногвардейском и Новооскольском лесничествах министерства природопользования Белгородской области сосредоточено 23% всех областных дубрав. Данные насаждения являются типичными для региона по всем таксационным характеристикам и могут служить объектом исследования.

Ключевым направлением в работе должно стать установление происхождения дубрав, методов выделения семенных и порослевых, естественной и возобновительной спелости, а также комплексной, являющейся основанием для установления возрастов рубок в защитных лесах; влияния хозяйственной деятельности человека, определение истинного санитарного состояния дубрав – объективного показателя деградации.

Белгородской области необходима современная районная система лесохозяйственных мероприятий в дубравах, учитывающая биологические особенности дуба, резко изменяющиеся климатические факторы и хозяйственно – экономическую деятельность хозяйствующих субъектов.

Список литературы

1. Благодарова, Т.А. Внедрение популяционной и плюсовой селекции дуба черешчатого в Курской и Белгородской областях / Т.А. Благодарова, В.И. Терехов, В.В. Веретенников // Современное лесное хозяйство – проблемы и перспектива. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию «ВНИИЛГИСбиотех» 3-4 декабря 2020 года. – Воронеж: ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех», 2020. – 393 с. – ISBN 978-5-4473-0292-4. – Текст: электронный.
2. Лукин, С.В. Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области/ П.М. Авраменко, П.Г. Акулов, Ю.Г. Атанов и др.; под ред. С.В. Лукина. – Белгород, 2007. – 556 с. – Текст: непосредственный.
3. Сазонов, А. А. Поражение дубрав Беларуси армилляриозной гнилью в период массового усыхания / А. А. Сазонов, В. Б. Звягинцев, Е. М. Зайцева // Лесоведение. – 2023. – № 5. – С. 451-461. – DOI 10.31857/S0024114823050091. – EDN MXTTLJ. – URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=54348788/> (дата обращения: 04.10.2023).

4. Харченко, Н.А. Деградация дубрав Центрального Черноземья: монография / Н.А. Харченко [и др.]; под общ. ред. Н.А. Харченко. – Воронеж, 2010. – 640 с. – ISBN 978-5-7994-0402-4. – Текст: непосредственный.
5. Шутяев, А.М. Биоразнообразие дуба черешчатого и его использование в селекции и лесоразведении / А.М. Шутяев. – Воронеж, 2000. – 336 с. – ISBN 5-88242-166-7. – Текст: непосредственный.
6. Большая российская энциклопедия 2004-2017: [сайт]. – Москва, 2023 - URL: [https:// old.bigenc.ru/geography/text/5676142/](https://old.bigenc.ru/geography/text/5676142/) (дата обращения: 03.10.2023). – Текст: электронный.
7. КонсультантПлюс: [сайт]. – Москва, 2023 - URL:[https:// consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/52e601d021c50e693a4135aa7645fe8719ed50a6/?ysclid=ln4xne18m990489555/](https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/52e601d021c50e693a4135aa7645fe8719ed50a6/?ysclid=ln4xne18m990489555/) (дата обращения: 03.10.2023). – Текст: электронный.
8. КонсультантПлюс: [сайт]. – Москва, 2023 - URL:consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=817023&dst=100001&ysclid=ln4le5xzt164896991#DngLkrT2oarXpRs/ (дата обращения: 03.10.2023). – Текст: электронный.
9. Министерство природопользования Белгородской области: [сайт]. – Белгород, 2023 - URL:[https:// beluprles.ru/media/site_platform_media/2022/10/5/gosdoklad-2021.pdf/](https://beluprles.ru/media/site_platform_media/2022/10/5/gosdoklad-2021.pdf/) (дата обращения: 03.10.2023). – Текст: электронный.
10. Министерство природопользования Белгородской области: [сайт]. – Белгород, 2023 - URL: [https:// beluprles.ru/navigator-po-oopt/](https://beluprles.ru/navigator-po-oopt/) (дата обращения: 03.10.2023). – Текст: электронный.
11. Руниверс: [сайт]. – Москва, 2023 - URL: [https:// runivers.ru/new_htmlreader/?book=7814&chapter=451170](https://runivers.ru/new_htmlreader/?book=7814&chapter=451170) (дата обращения: 03.10.2023). – Текст: электронный.
12. Treeland.ru: [сайт]. – Мичуринск, 2023 - URL: [https:// treeland.ru/article/garden/oaku/pri4iny_degradacii_dubrav_v_mire.htm](https://treeland.ru/article/garden/oaku/pri4iny_degradacii_dubrav_v_mire.htm) (дата обращения: 03.10.2023). – Текст: электронный.

References

1. Blagodarova, T.A. Introduction of population and positive breeding of oak in the Kursk and Belgorod regions / T.A. Blagodarova, V.I. Terekhov, V.V. Veretennikov // Modern forestry – problems and prospects. Materials of the All-Russian Scientific and practical conference dedicated to the 50th anniversary of VNIILGISBIOTECH on December 3-4, 2020. – Voronezh: FSBI "Vniilgisbiotech", 2020. – 393 p. – ISBN 978-5-4473-0292-4. – Text: electronic.
2. Lukin, S.V. Natural resources and the environment of the Belgorod region/ P.M. Avramenko, P.G. Akulov, Yu.G. Atanov, etc.; edited by S.V. Lukin. – Belgorod, 2007. – 556 p. – Tex: direct.
3. Sazonov, A. A. Defeat of the oaks of Belarus by armillarium rot during the period of mass drying / A. A. Sazonov, V. B. Zvyagintsev, E. M. Zaitseva // Forest science. – 2023. – No. 5. – PP. 451-461. – DOI 10.31857/S0024114823050091. – EDN

- MXTTLJ. –URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=54348788> / (accessed: 04.10.2023).
4. Kharchenko, N.A. Degradation of oak forests of the Central Chernozem region: monograph / N.A. Kharchenko [et al.]; under the general editorship of N.A. Kharchenko. – Voronezh, 2010. – 640 p. – ISBN 978-5-7994-0402-4. – Text: direct.
 5. Shutyaev, A.M. Biodiversity of the pedunculate oak and its use in breeding and afforestation / A.M. Shutyaev. – Voronezh, 2000. – 336 p. – ISBN 5-88242-166-7. – Text: direct.
 6. The Great Russian Encyclopedia 2004-2017: [website]. – Moscow, 2023 - .URL: [https:// old.bigenc.ru/geography/text/5676142](https://old.bigenc.ru/geography/text/5676142) / (accessed: 03.10.2023). – Text: electronic.
 7. ConsultantPlus: [website]. – Moscow, 2023 - .URL: [https:// consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/52e601d021c50e693a4135aa7645fe8719ed50a6 /?ysclid=inc4xne18m990489555/](https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/52e601d021c50e693a4135aa7645fe8719ed50a6/?ysclid=inc4xne18m990489555/) (accessed 03.10.2023). – Text: electronic.
 8. ConsultantPlus: [website]. – Moscow, 2023 - .URL: [https:// consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=817023&dst=100001&ysclid=inc4le5x zr164896991#DngLkrT2oarxXpRs](https://consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=817023&dst=100001&ysclid=inc4le5x zr164896991#DngLkrT2oarxXpRs) / (accessed: 03.10.2023). – Text: electronic.
 9. Ministry of Nature Management of the Belgorod region: [website]. – Belgorod, 2023 - .URL: [https:// beluprles.ru/media/site_platform_media/2022/10/5 / gosdoklad-2021.pdf/](https://beluprles.ru/media/site_platform_media/2022/10/5/gosdoklad-2021.pdf/) (accessed 03.10.2023). – Text: electronic.
 10. Ministry of Nature Management of the Belgorod region: [website]. – Belgorod, 2023 - .URL: [https:// beluprles.ru/navigator-po-oopt /](https://beluprles.ru/navigator-po-oopt/) (accessed: 03.10.2023). – Text: electronic.
 11. Runivers: [website]. – Moscow, 2023 - URL: [https:// runivers.ru/new_htmlreader /?book=7814&chapter=451170](https://runivers.ru/new_htmlreader/?book=7814&chapter=451170) (accessed 03.10.2023). – Text: electronic.
 12. Treeland.ru: [website]. – Michurinsk, 2023 - URL: [https:// treeland. ru/article/garden/oaky/pri4iny_degradacii_dubrav_v_mire.htm](https://treeland.ru/article/garden/oaky/pri4iny_degradacii_dubrav_v_mire.htm) (accessed: 03.10.2023). – Text: electronic.

Горобец А.И.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Продуктивность ивовых сообществ в пойме реки Шчигор

Аннотация. В пойме реки Шчигор доминируют древовидные сообщества *S. fragilis* L. По их границе произрастают разреженные кустарниковые заросли *S. purpurea* L. К малопроточным западинам приурочены кустарниковые заросли *S. cinerea* L. Наиболее активный прирост запаса отмечается до 30-летнего возраста, после чего он снижается. До 30-летнего возраста сообщества *S. fragilis* без признаков ослабления, старше – ослабленные. Стволовой запас четырехлетних сообществ *S. purpurea* на вершине прируслового вала почти вдвое меньше, чем на бечевнике. Наибольший ущерб растениям ивы наносят *Saperda populnea* L. и *Sciapteron tabaniformis* Rott., из грибных болезней – *Cryptomyces maximus* Fr. Rehm. и *Impex lacteum* Fr. Из первичных вредителей отмечено незначительное количество гусениц (*Ocneria dispar* L., *Leucota salicis* L.), личинок и имаго *Phyllodecta vitellinae* L. Более часты очаги *Aphrophora salicis* и *Chaitophoris vitellinae* Schr.

Ключевые слова: продуктивность, пойма, ивовые сообщества

Gorobets A.I.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Productivity of willow communities in the floodplain of the Shchigor river

Abstract. In the floodplain of the Shchigor river, tree-like communities of *Salix fragilis* L. dominate. Sparse shrub thickets of *Salix purpurea* L. grow along their border. Shrub thickets of *Salix cinerea* L. are confined to slow-flowing depressions. it is decreasing. Until the age of 30, *S. fragilis* communities show no signs of weakening; older, they are weakened. The stem stock of four-year-old communities of *S. purpurea* at the top of the channel bar is almost half that on the towpath. The greatest damage to willow plants is caused by *Saperda populnea* L. and *Sciapteron tabaniformis* Rott., among fungal diseases - *Cryptomyces maximus* Fr. Rehm. and *Impex lacteum* Fr. Of the primary pests, an insignificant number of caterpillars of *Ocneria dispar* L.,

Leucoma salicis L. larvae and adults of *Phyllodecta vitellinae* L. were noted. Foci of *Aphrophora salicis* and *Chaitophoris vitellinae* Schr.

Key words: productivity, willow communities, floodplain

1. Введение

В умеренном климате ивовые сообщества занимают берега рек и водоемов, получая влагу не только за счет атмосферных осадков, но и за счет грунтовых вод, а также используя дополнительный запас влаги во время речных паводков. Кроме того, ивовые сообщества произрастают на отрицательных элементах рельефа, где используют влагу атмосферных осадков и грунтовых вод. По сравнению с большинством древесных растений умеренного климата растения рода *Salix* по силе роста уступают только растениям рода *Populus*.

По данным А.П. Царева [1], плантация *Salix alba* L. ежегодно дает в среднем $3,4 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ стволовой древесины, а в оптимальных условиях достигает $12,8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Близкие средние значения, в том числе и для других видов рода *Salix*, отмечены в наших более ранних публикациях [2] и в мировой литературе [3]. Наибольшее значение имеют экологические функции ивовых сообществ [4–11]. Наряду с этим все компоненты фитомассы ивы (кора, древесина, листья) имеют хозяйственное значение [12–16].

Целью настоящего исследования является установление закономерностей накопления древесной массы и санитарного состояния ивняков на примере поймы реки Шигор.

2. Материалы и методы

Пространственное распространение сообществ рода *Salix* установлено маршрутным методом. Таксономическую принадлежность и биоморфу изученных видов ивы определяли по внешнему признаку растений в облиственном состоянии с помощью определителя ив [17]. Для анализа биологической продуктивности сообществ рода *Salix* таксацию проводили на пробных площадях по утвержденным методикам [18].

Санитарное состояние растений ивы устанавливали в соответствии с Правилами санитарной безопасности в лесах Российской Федерации [19]. В соответствии с этим документом к 1 категории (здоровые, без признаков ослабления) относятся деревья нормального развития, густой кроны, нормальной формы (для данной породы, возраста, условий произрастания и сезонного периода), окраски и размера хвои (листья). нормальный, прирост текущего года нормального размера, без повреждений вредителями и болезнями, без механических повреждений ствола, скелетных ветвей, ран и дупел. Ко 2 категории (ослабленные) относятся деревья с начальными признаками ослабления, недостаточно облиственные, крона разреженная, листва светло-зеленая, прирост снижен, но не более чем наполовину, отдельные ветви увядшие, менее 25 процентов сухих ветвей в кроне, единичные водяные побеги, признаками возможны локальные повреждения ствола и корневой лапы, ветвей, допустимо наличие механических повреждений и мелких дупла, не угрожающих их жизни. К 3 категории (сильно ослабленные) относятся деревья в активной стадии поражения неблагоприятными факторами с выраженными признаками

ухудшения, ажурная крона развита слабо, листва мелкая, светло-зеленая, светлее или желтее обычного, прирост слабый, менее более половины обычных ветвей, наличие засыхающих или усохших ветвей, засыхание ветвей до 2/3 кроны, сухость ветвей от 25 до 50 процентов, обильные водяные побеги на стволе и ветвях, плодовые тела трутовиков или дупла характерны для них, возможны значительные механические повреждения ствола, сухая верхушка, нередко имеются признаки поражения болезнями и вредителями ствола, корневых лап, ветвей, листвы, в том числе попытки поселения стеблевых вредителей. К 4 категории (усыхающие) относятся деревья сильно поврежденные с большой вероятностью усыхания в текущем или следующем вегетационном периоде, крона очень ажурная, листва мелкая, редкая, светло-зеленая или желтоватая, прирост очень слабый или отсутствует, усыхание более 2/3 ветвей, более 50 % сухих ветвей, на стволе и ветвях возможны признаки заселения стволовыми вредителями (летки, насечки, соковыделение, буровая мука и опилки, насекомые на коре, под корой и в древесине), обильные водные побеги, частично засохшие или засыхающие. В категорию 5 (погибшие) входят деревья, полностью утратившие жизнеспособность.

Для оценки категории состояния сообщества была рассчитана средневзвешенная категория санитарного состояния. При значениях средневзвешенной категории санитарного состояния от 1,0 до 1,5 сообщества классифицируются как здоровые (без признаков ослабления); в диапазоне от 1,51 до 2,5 - ослабленные сообщества; в диапазоне от 2,51 до 3,5 - сильно ослабленные сообщества; в диапазоне от 3,51 до 4,5 - усыхающие сообщества, более 4,5 - погибшие сообщества.

В качестве полигона для исследований использовалась пойма реки Щигор в Курской области Российской Федерации. Географические координаты установленных пробных площадей и отмеченные на них виды рода *Salix* приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Географические координаты пробных площадей, заложенных в ивовых сообществах

№ пробной площади	Исследуемый вид	Биоморфа	Возраст растений, лет	Координаты центров пробных площадей:	
				северная широта	восточная долгота
1	<i>S. fragilis</i>	Д	10	51°53'27,31"	36°50'57,79"
2	<i>S. fragilis</i>	Д	30	51°53'32,89"	36°51'12,39"
3	<i>S. fragilis</i>	Д	45	51°53'29,27"	36°51'17,96"
4	<i>S. fragilis</i>	Д	60	51°53'24,79"	36°51'18,50"
5	<i>S. purpurea</i>	К	4	51°53'26,22"	36°50'45,74"
6	<i>S. purpurea</i>	К	4	51°53'26,98"	36°50'46,83"
7	<i>S. cinerea</i>	К	3	51°53'26,12"	36°50'53,39"
8	<i>S. cinerea</i>	К	5	51°53'25,93"	36°50'54,70"
9	<i>S. cinerea</i>	К	10	51°53'26,93"	36°50'55,48"

Примечание: Д – древовидная биоморфа; К – кустарниковая биоморфа.

3. Результаты и их обсуждение

В пойме р. Щигор максимальные площади ивовых сообществ располагаются в пределах вогнутых бортов речных излучин (меандр). На участках, где река не образует меандров, только прирусловая пойма занята ивняками, остальные площади распаханы под сельскохозяйственные угодья. Древовидные сообщества *S. fragilis* преобладают как в меандрах, так и в прирусловой пойме в пределах местообитаний с проточными грунтовыми водами. По их границе растут разреженные кустарниковые заросли *S. purpurea*. Этот вид ивы приурочен к двум резко различающимся местообитаниям: к мелководному берегу реки, а также к вершине прирусловой дюны. Кустарниковые заросли *S. cinerea* приурочены к малопроточным понижениям прирусловой поймы. Такие впадины чаще всего располагаются на выпуклой стороне речных излучин по границе песчаных отложений.

Насаждения *S. fragilis*, произрастающие в пойме р. Щигор, порослевого происхождения, в возрасте от 10 до 60 лет (табл. 2).

Таблица 2 - Таксационная характеристика ивовых сообществ в пойме реки Щигор

№ пробной площади	Возраст, лет	Средние:		Число стволов, тыс. шт·га ⁻¹	Стволовой запас, м ³ ·га ⁻¹	Средний годичный прирост по запасу, м ³ ·га ⁻¹	Средняя категория санитарного состояния
		высота, м	диаметр, см				
<i>S. fragilis</i>							
10		5,8	4,5	6,67	29	2,90	1.0
30		18,6	15,8	0,48	98	3,27	1.3
45		20,5	32,0	0,13	116	2,58	2.0
60		20,9	65,0	0,06	145	2,42	2.2
<i>S. purpurea</i> на бечевнике							
5	4	3,2	2,5	11,20	8,0	2,00	1.4
<i>S. purpurea</i> на вершине прируслового вала							
6	4	3,3	2,3	7,20	4,4	1,10	1.3
<i>S. cinerea</i> по малопроточным западинам							
3		3,2	1,9	7,50	3,0	1,00	1.2
5		3,5	3,0	6,90	8,0	1,60	1.6
10		3,7	3,5	6,60	11,4	1,14	1.8

Наиболее заметно изменение количества деревьев на единице площади с увеличением возраста. Если количество стволов ивы в десятилетнем насаждении принять за 100 %, то к 30 годам остается 7 % этого количества. В 60-летнем насаждении остается только 1 % стволов ивы по сравнению с десятилетним насаждением. Наряду с уменьшением количества стволов с возрастом

древостоев закономерно увеличение их размеров. За 50 лет высота стволов увеличилась почти в 4 раза, диаметр - в 14 раз. Стволовой запас увеличился в 5 раз и к 60 годам достиг 145 м³·га⁻¹. Наиболее активный прирост запаса наблюдается до 30 лет, после чего он снижается. До 30 лет насаждение без признаков ослабления, старше - ослаблено.

В кустарниковых сообществах *S. purpurea* размеры стеблей на бечевнике и на вершине прируслового вала практически не различаются, но их общее количество в расчете на единицу площади различается значительно. На бечевнике количество стеблей пурпурной ивы почти в два раза превышает количество стеблей этого вида ивы, растущей на вершине прируслового вала. Это обстоятельство и определяет различия в продуктивности ценозов. Стволовой запас четырехлетних сообществ *S. purpurea* на вершине прируслового вала почти вдвое меньше, чем на бечевнике.

Возраст исследованных нами сообществ *S. cinerea* составляет от 3 до 10 лет. Размеры стеблей *S. cinerea* и их количество на единице площади близки к таковым у *S. purpurea*. В трехлетних сообществах *S. cinerea* количество стеблей составляет 7,5 тыс. шт.·га⁻¹, в десятилетних уменьшается до 6,6 тыс. шт.·га⁻¹. Следовательно, резкого снижения численности растений в рассматриваемом возрастном интервале у ивы пепельной не происходит. В интервале от трех до пяти лет она уменьшилась на 10 %, от пяти до десяти лет - на 5 %. Высота стеблей в интервале от 3 до 5 лет возраста растений увеличилась на 10 %, диаметр - на 60 %. В интервале от 5 до 10 лет высота и диаметр увеличились на 5 %. Наиболее активный рост наблюдается до пятилетнего возраста. На этом же этапе происходит наиболее интенсивное накопление фитомассы. Стеблевой запас пятилетних ценозов в 2,7 раза превышает аналогичный показатель трехлетних ценозов. Запас десятилетних ценозов в 1,4 раза превышает запас пятилетних. Санитарное состояние кустарничковых ивняков в возрасте до 4 лет оценивается как здоровое, в старшем возрасте - ослабленное.

Наши исследования показали, что ослабленные, сильно ослабленные и засыхающие растения заселяются стеблевыми вредителями и заражаются грибными заболеваниями. Из стеблевых вредителей наибольший ущерб ивовым сообществам наносят усач тополевым малый (*Saperda populnea* L.) и стеклянница темнокрылая (*Sciapteron tabaniformis* Rott.); среди грибковых заболеваний *Cryptomyces maximus* Fr. Rehm. и импекс молочный-белый (*Impex lacteum* Fr.).

Массовых очагов листогрызущих вредителей в дикорастущих ивняках за период исследований (1984-2023 гг.) нами не отмечено. Отмечено небольшое количество гусениц непарного шелкопряда (*Ocneria dispar* L.), ивовой волнянки (*Leucoma salicis* L.), личинок и имаго ивового листоеда (*Phyllodecta vitellinae* L.). Участились вспышки массового распространения цикадки ивовой (*Aphrophora salicis*) и тли побеговой (*Chaitophoris vitellinae* Schr.). Первичные вредители ослабляют растения и создают условия для заселения их стеблевыми вредителями и болезнями.

Наиболее опасным антагонистом кустарничковых ивовых сообществ является травянистая лиана *Sicyoc angulata* L., разрастание которой в течение

двух-пяти лет приводит к полной гибели кустарников и переходу их в травянистые сообщества.

4. Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы. В пойме р. Щигор преобладают древовидные сообщества *S. fragilis*. По их границе растут разреженные кустарниковые заросли *S. purpurea*. Кустарниковые заросли *S. cinerea* приурочены к малопроточным понижениям прирусловой поймы. Насаждения *S. fragilis* порослевого происхождения, в возрасте от 10 до 60 лет. Наиболее заметно изменение количества деревьев на единицу площади. Если количество стволов *S. fragilis* в десятилетнем насаждении принять за 100 %, то к 30 годам остается 7 % от этого числа. В 60-летнем насаждении остается только 1 % стволов ивы по сравнению с десятилетним насаждением. За 50 лет высота стволов увеличилась почти в 4 раза, диаметр - в 14 раз. Стволовой запас увеличился в 5 раз и к 60 годам достиг 145 м³·га⁻¹. Наиболее активный прирост запаса наблюдается до 30 лет, после чего он снижается. До 30 лет насаждения *S. fragilis* не имеют признаков ослабления; старые насаждения ослаблены.

Стеблевой запас четырехлетних сообществ *S. purpurea* на вершине прируслового вала почти вдвое меньше, чем на бечевнике. Средний годичный прирост по запасу пятилетних сообществ *S. cinerea* в 2,7 раза выше, чем у трехлетних сообществ. Запас десятилетних сообществ в 1,4 раза превышает запас пятилетних. Санитарное состояние кустарничковых ивняков в возрасте до 4 лет оценивается как здоровое, в старшем возрасте - ослабленное.

Ослабленные, сильно ослабленные и засыхающие растения заселяются стеблевыми вредителями, заражаются грибковыми заболеваниями. Из стеблевых вредителей наибольший ущерб ивовым сообществам наносят усач тополевым малый (*Saperda populnea* L.) и стеклянница темнокрылая (*Sciapteron tabaniformis* Rott.); среди грибковых заболеваний *Cryptomyces maximus* Fr. Rehm. и импекс молочно-белый (*Impex lacteum* Fr.). Из первичных вредителей отмечено небольшое количество гусениц непарного шелкопряда (*Ocneria dispar* L.), ивовой волнянки (*Leucoma salicis* L.), личинок и имаго ивового листоеда (*Phyllodecta vitellinae* L.). Участились вспышки цикадки ивовой (*Aphrophora salicis*) и тли побеговой (*Chaitophoris vitellinae* Schr.). Первичные вредители ослабляют растения и создают условия для заселения их стеблевыми вредителями и болезнями. Опасным антагонистом кустарниковых ивовых сообществ является травянистая лиана (*Sicyos angulata* L.). Для улучшения санитарного состояния ивняков необходимо своевременно удалять засыхающие и погибшие экземпляры растений.

Список литературы

1. Царев, А. П. Основные направления и результаты селекции ив в России / А. П. Царев // Труды лесоинженерного факультета Петрозаводского государственного университета – 2005. – № 5. – С. 123-131.

2. Горобец, А. И. Продуктивность и санитарное состояние древостоев ивы ломкой в поймах средних и малых рек Центрального Черноземья / А. И. Горобец // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6. – № 4(24). – С. 49-54. – DOI 10.12737/23434.
3. Berner, L T, Goetz S J, Alexander H D (et al.) 2015 Biomass allometry for alder, dwarf birch, and willow in boreal forest and tundra ecosystems of far northeastern Siberia and north-central Alaska Forest Ecology and Management Vol. 337 pp 110-118 doi: 10.1016/j.foreco.2014.10.027.
4. Lenton, T.M., Dahl, T.W., Daines, S.J., (...), Saltzman, M.R., Porada, P. 2016 Earliest land plants created modern levels of atmospheric oxygen . Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 113(35), с. 9704-9709/
https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84984900747&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=photosynthesis+molar+ratio&st2=&sid=bf85bf8b308f230fa01216842b46b80b&sot=b&sdt=b&sl=41&s=title-abs-key%28photosynthesis+molar+ratio%29&relpos=17&citeCnt=56&searchTerm=&featureToggles=feature_new_doc_details_export:1
5. Weih, M. Willow short-rotation coppice as model system for exploring ecological theory on biodiversity-ecosystem function / M. Weih, C. Glynn, C. Baum // Diversity. – 2019. – Vol. 11. – No 8. – P. 125. – DOI 10.3390/d11080125.
6. Hangs, R. D. Influence of Willow Biochar Amendment on Soil Nitrogen Availability and Greenhouse Gas Production in Two Fertilized Temperate Prairie Soils / R. D. Hangs, H. P. Ahmed, J. J. Schoenau // Bioenergy Research. – 2016. – Vol. 9. – No 1. – P. 157-171. – DOI 10.1007/s12155-015-9671-5.
7. Guidi Nissim, W, Jerbi A, Lafleur B (et al.) 2015 Willows for the treatment of municipal wastewater: Performance under different irrigation rates Ecological Engineering Vol. 81 pp 395-404 doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.067.
8. Janssen, J, Weyens N, Croes S (et al.) 2015 Phytoremediation of Metal Contaminated Soil Using Willow: Exploiting Plant-Associated Bacteria to Improve Biomass Production and Metal Uptake International Journal of Phytoremediation Vol. 17 11 pp 1123-1136 doi: 10.1080/15226514.2015.1045129.
9. Nissim, W G, Hasbroucq S, Kadri H (et al.) 2015 Potential of Selected Canadian Plant Species for Phytoextraction of Trace Elements From Selenium-Rich Soil Contaminated by Industrial Activity International Journal of Phytoremediation Vol. 17 8 pp 745-752 doi: 10.1080/15226514.2014.987370
10. Vervaeke, P, Luyssaert S, Mertens J (et al.) 2003 Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: A field trial Environmental Pollution Vol. 126 2 pp 275-282 doi: 10.1016/S0269-7491(03)00189-1.
11. Schickhoff, U. Riparian willow communities on the Arctic Slope of Alaska and their environmental relationships: A classification and ordination analysis / U. Schickhoff, M. D. Walker, D. A. Walker // Phytocoenologia. – 2002. – Vol. 32. – No 2. – P. 145-204. – DOI 10.1127/0340-269X/2002/0032-0145.
12. Warmiński, K, Stolarski M J, Gil Ł, Krzyżaniak M 2021 Willow bark and wood as a source of bioactive compounds and bioenergy feedstock Industrial Crops and Products Vol. 171 p 113976 doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113976.

13. Петрук, А. А. Содержание салицина в листьях и соцветиях некоторых видов рода *Salix* (Salicaceae) / А. А. Петрук // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – № 3. – С. 825-826.
14. Förster, N, Ulrichs C, Zander M (et al.) 2010 Factors influencing the variability of antioxidative Phenolic glycosides in salix species Journal of Agricultural and Food Chemistry Vol. 58 14 pp 8205-8210 doi: 10.1021/jf100887v.
15. Pulford, I. D. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees-a review / I. D. Pulford, C. Watson // Environment International. – 2003. – Vol. 29. – No 4. – P. 529-540. – DOI 10.1016/S0160-4120(02)00152-6.
16. Schmid, B. Pharmacokinetics of salicin after oral administration of a standardised willow bark extract / B. Schmid, I. Kotter, L. Heide // European Journal of Clinical Pharmacology. – 2001. – Vol. 57. – No 5. – P. 387-391.
17. Скворцов, А.К. Ивы СССР: Систематический и географический обзор – Москва: Наука, 1968. – 262 с. https://www.studmed.ru/skvorcov-ak-ivy-sssr_f60fccba4a1.html
18. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 марта 2018 г. N 122 "Об утверждении Лесоустроительной инструкции". – <https://base.garant.ru/71929772/>
19. Постановление правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года N 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». https://go.mail.ru/redirect?type=sr&redirect=ejzlkckpklbs109kle7vs08ssswr0ssq1tc3nta2nzm202dgm dqzsqaji4byhvk1vv18eo7fqutvtpovdqbibhol&src=5924550&via_page=1&user_type=26&oqid=90c410438087af58.

References

1. Tsarev A P 2005 The main directions and results of willow breeding in Russia *Proceedings of the forest engineering faculty of Petrozavodsk State University* (in Russian – Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta) 5 pp 123-131 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22796044>
2. Gorobets A I 2016 Productivity and sanitary condition of brittle willow stands in the floodplains of medium and small rivers of the Central Chernozem region *Lesotechnical journal* (in Russian – Lesotekhnicheskii zhurnal) T. 6. 4 (24) pp 49-54 doi: 10.12737/23434.
3. Berner L T, Goetz S J, Alexander H D (et al.) 2015 Biomass allometry for alder, dwarf birch, and willow in boreal forest and tundra ecosystems of far northeastern Siberia and north-central Alaska *Forest Ecology and Management* Vol. 337 pp 110-118 doi: 10.1016/j.foreco.2014.10.027
4. Lenton T M, Dahl T W, Daines S J, (...), Saltzman M R, Porada, P. 2016 Earliest land plants created modern levels of atmospheric oxygen *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113(35) pp 9704-9709. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84984900747&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=photosynthesis+molar+ratio&st2=&sid=bf85bf8b308f230fa01216842b46b80b&sot=b&sdt=b&sl=41&s=>

- TITLE-ABS-KEY%28photosynthesis+molar+ratio%29&relpos=17&citeCnt=56
&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
5. Weih M 2019 Willow short-rotation coppice as model system for exploring ecological theory on biodiversity-ecosystem function *Diversity* Vol. 11 8 p 125 doi: 10.3390/d11080125
 6. Hangs R D, Ahmed H P, Schoenau J J 2016 Influence of Willow Biochar Amendment on Soil Nitrogen Availability and Greenhouse Gas Production in Two Fertilized Temperate Prairie Soils *Bioenergy Research* Vol. 9 1 – pp 157-171 doi: 10.1007/s12155-015-9671-5
 7. Guidi Nissim W, Jerbi A, Lafleur B (et al.) 2015 Willows for the treatment of municipal wastewater: Performance under different irrigation rates *Ecological Engineering* Vol. 81 pp 395-404 doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.067
 8. Janssen J, Weyens N, Croes S (et al.) 2015 Phytoremediation of Metal Contaminated Soil Using Willow: Exploiting Plant-Associated Bacteria to Improve Biomass Production and Metal Uptake *International Journal of Phytoremediation* Vol. 17 11 pp 1123-1136 doi: 10.1080/15226514.2015.1045129
 9. Nissim W G, Hasbroucq S, Kadri H (et al.) 2015 Potential of Selected Canadian Plant Species for Phytoextraction of Trace Elements From Selenium-Rich Soil Contaminated by Industrial Activity *International Journal of Phytoremediation* Vol. 17 8 pp 745-752 doi: 10.1080/15226514.2014.987370
 10. Vervaeke P, Luysaert S, Mertens J (et al.) 2003 Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: A field trial *Environmental Pollution* Vol. 126 2 pp 275-282 doi: 10.1016/S0269-7491(03)00189-1
 11. Schickhoff U Walker M D, Walker D A 2002 Riparian willow communities on the Arctic Slope of Alaska and their environmental relationships: A classification and ordination analysis *Phytocoenologia* Vol. 32 2 pp 145-204. – DOI 10.1127/0340-269X/2002/0032-0145
 12. Warmiński K, Stolarski M J, Gil Ł, Krzyżaniak M 2021 Willow bark and wood as a source of bioactive compounds and bioenergy feedstock *Industrial Crops and Products* Vol. 171 p 113976 doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113976
 13. Petruk A A 2013 The content of salicin in the leaves and inflorescences of some species of the genus *Salix* (Salicaceae) *Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences (in Russian – Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki)* T 18 3 pp 825-826 <http://journals.tsutmb.ru/go/1810-0198/2013/3/825-826/>
 14. Förster N, Ulrichs C, Zander M (et al.) 2010 Factors influencing the variability of antioxidative Phenolic glycosides in salix species *Journal of Agricultural and Food Chemistry* Vol. 58 14 pp 8205-8210 doi: 10.1021/jf100887v
 15. Pulford I D, Watson C 2003 Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees-a review *Environment International* Vol. 29 4 pp 529-540 doi: 10.1016/S0160-4120(02)00152-6
 16. Janssen J, Weyens N, Croes S (et al.) 2015 Phytoremediation of Metal Contaminated Soil Using Willow: Exploiting Plant-Associated Bacteria to Improve Biomass Production and Metal Uptake *International Journal of Phytoremediation* Vol. 17 11 pp 1123-1136 doi: 10.1080/15226514.2015.1045129

17. Skvortsov A K 1968 Willows of the USSR: Systematic and geographical review (Moscow: Nauka) - 262 p https://www.studmed.ru/skvorcov-ak-ivy-sssr_f60fccba4a1.html
18. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of March 29, 2018 N 122 "On approval of the Forest Inventory Instruction" (in Russian) <https://base.garant.ru/71929772/>
19. Rules of sanitary safety in the woods. The Resolution of the government of the Russian Federation of 09.12.2020 # 2047 "About the approval of rules of sanitary safety in the woods" (in Russian). URL: https://go.mail.ru/redirect?type=sr&redirect=eJzLKCKpKLbS109KLE7VS08sSswr0Ssq1Tc3NTA2NzM202dgMDQzsQAjI4bYhVK1VV18Eo7fqutvTpoVDQBIBhOL&src=5924550&via_page=1&user_type=26&oqid=90c410438087af58

Дмитриева А.А., Яковенко Н.В., Агазаде Ч.А.

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж

Подходы к оценке эмиссий парниковых газов

Аннотация. Необходимость решения глобальной проблемы климатических изменений делает тему исследования актуальной. Проблема эта активно обсуждалась на протяжении последних двух десятилетий и привела к созданию механизма регулирования выбросов парниковых газов в Киотском протоколе к РКИК ООН. Ключевую роль здесь играют рыночные инструменты, такие как торговля правами на выбросы ПГ, которые помогают оптимизировать затраты на программы регулирования эмиссий ПГ. В ближайшие годы рынок ПГ-газов может стать глобальным экономическим ресурсом, значительно влияющим на конкуренцию между странами и компаниями. Глобальные изменения климата, во многом определяемые ростом в атмосфере концентрации парниковых газов, стоят в ряду приоритетных проблем современной экологии. Цель исследования – дать оценку разнообразных подходов к оценке эмиссий парниковых газов. Материалами исследования выступили разнообразные источники информации: монографии, публикации, открытые источники в сети Интернет. Методы исследования: системный анализ, сравнение, описание и обобщения. Систематизированы подходы к оценке эмиссий парниковых газов.

Ключевые слова: лес, ресурсы, подход, эмиссия, парниковые газы

Dmitrieva A.A., Yakovenko N.V., Agazade Ch.A.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh*

Approaches to the assessment of greenhouse gas emissions

Abstract. The need to solve the global issue of climate changes makes the topic of the research relevant. This issue has been actively discussed over the past two decades and led to the creation of a mechanism for regulating greenhouse gas emissions in the Kyoto Protocol to the UN Framework Convention on Climate Change. Market-based instruments, such as greenhouse gas emission rights trading, play a key role here, helping to optimize the costs of greenhouse gas regulation programmes. In the coming years, the greenhouse gas market may become a global economic resource, significantly affecting competition between states and companies. Global climate

change, largely determined by the increasing concentration of greenhouse gases in the atmosphere, is one of the priority issues of modern ecology. The purpose of the research is to evaluate a variety of approaches to estimating greenhouse gas emissions. The materials of the research were a variety of sources of information: monographs, publications, open sources on the Internet. Methods of research were system analysis, comparison, description and generalizations. The approaches to the estimation of greenhouse gas emissions have been systematized.

Key words: forest, resources, approach, emissions, greenhouse gases

Введение

В настоящее время климатические изменения являются одной из ведущих мировых проблем, решить которую становится возможно только при высоком уровне сотрудничества между всеми странами. В соответствии с Рамочной конвенцией ООН по изменению климата, глобальное потепление окажет серьезное влияние как на морские, так и наземные экосистемы, мировую экономику и в целом, на все человечество. Приняты различные регулирующие документы на международном, национальном и муниципальном уровнях, которые предусматривают учет выбросов парниковых газов, основанный на расчетах и наблюдениях, а также устанавливают меры для стабилизации концентрации этих газов в атмосфере.

Поэтому заявляемая проблема в данном исследовании не вызывает сомнений и приобретает особую актуальность.

Цель исследования – дать оценку разнообразных подходов к оценке эмиссий парниковых газов

Материалы и методы исследования

Материалами исследования выступили разнообразные источники информации: монографии, публикации, открытые источники в сети Интернет, официальные документы Правительства РФ.

Методы исследования: системный анализ, сравнение, описание и обобщение.

Результаты исследования и их обсуждение

В зависимости от потребностей и доступности данных инвентаризацию эмиссий парниковых газов проводят на разных уровнях. Можно выделить три основных уровня: а) инвентаризация на глобальном уровне; б) инвентаризация на национальном уровне (уровень страны); в) пространственная инвентаризация для некоторых участков территории. Каждый из этих уровней имеет свою специфику проведения инвентаризации, недостатки и преимущества, а также разнообразные применения результатов. Каждый из этих уровней имеет свою специфику проведения инвентаризации, недостатки и преимущества, а также разнообразные применения результатов [1-3]. Инвентаризация на глобальном уровне включает оценку выбросов парниковых газов на уровне всей планеты. Результаты инвентаризации на таком уровне имеют важное значение для исследования глобальной картины влияния человеческой деятельности на состояние атмосферного воздуха [4]. Эти результаты широко используются в различных климатических моделях, для прогнозирования будущего развития

событий в соответствии с прогнозируемыми сценариями эмиссий. Крупнейшими базами данных оценок выбросов парниковых газов на глобальном уровне являются: Carbon Dioxide Information and Analysis Center (CDIAC) в США [5] и Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) [6].

Инвентаризация на национальном уровне заключается в построении кадастров эмиссии парниковых газов на уровне отдельной страны. При таком подходе входной информацией для инвентаризации являются общие для страны данные о потреблении топлива, производстве промышленной продукции, вырубке лесов и др., а также коэффициенты эмиссии характерные для страны в целом. Такая инвентаризация является быстрой, все данные являются легкодоступными и ежегодно готовятся органами статистики той или иной страны [7].

Все страны-участники Киотского протокола ежегодно готовят национальные отчеты об инвентаризации эмиссий парниковых газов. Такие отчеты представляют в виде унифицированных таблиц, включающих шесть парниковых газов с разбивкой на основные виды источников эмиссии и абсорбции. В основном инвентаризация парниковых газов осуществляется на основе методик МГЭИК, однако каждая страна самостоятельно выбирает уровень детализации. Для оценки выбросов парниковых газов на национальном уровне применяются базы данных CDIAC и EDGAR.

Результаты инвентаризации на национальном уровне являются ценными для установления международных договоренностей по снижению антропогенных эмиссий, дают возможность контролировать процесс выполнения странами-участниками своих обязательств, ранжировать страны по уровням эмиссии и т.д. Недостатком этого подхода является то, что как входные данные для инвентаризации, так и результаты являются сфокусированными, они имеют смысл только для страны в целом, поэтому они малополезны для планирования экологического развития регионов и обоснования обоснованности мер на местном уровне по снижению эмиссий. Самый низкий уровень инвентаризации заключается в проведении инвентаризации для отдельных, достаточно малых участков территории определенного размера. В отличие от предыдущих уровней, в этом случае входные и выходные данные модели относятся к элементарной области. При достаточном уровне детализации результаты хорошо отражают характер и структуру эмиссий на некоторой территории, что дает возможность осуществить разнообразные виды анализа. С другой стороны, инвентаризация такого уровня дает возможность использовать специфические коэффициенты эмиссии, известные, например, для конкретных предприятий, что дает широкие возможности для снижения неопределенностей результатов инвентаризации. Недостатком такой инвентаризации является тяжесть применения, ведь необходимо иметь очень подробные входные данные о хозяйственной деятельности на определенном участке территории, коэффициенты эмиссии парниковых газов, которые бы учитывали основные параметры той или иной деятельности в конкретном элементарном участке.

Для оценки выбросов парниковых газов на определенной территории можно применять несколько методов, включая метод инвентаризации «сверху-

вниз» и метод инвентаризации «снизу-вверх», последний из которых предполагает подсчет выбросов на местах. Он заключается в том, что используют локальную информацию об отдельных источниках эмиссии и соответствующие коэффициенты эмиссии для построения кадастра.

Такой подход лучше всего и точнее отражает специфику эмиссионных процессов на соответствующей территории, при условии использования достоверных статистических данных и применения точных и верных коэффициентов эмиссии. Примером использования подхода «снизу-вверх» является инвентаризация, проведенная в Индии отдельно для каждого из 466 ее административных районов. К сожалению, проведение такого рода инвентаризации является достаточно трудным занятием, ведь такого рода статистические данные довольно часто конфиденциальны, исследование коэффициентов эмиссии в отдельных регионах или на предприятиях также довольно затратное и не всегда возможно.

Другой способ инвентаризации заключается в использовании общих национальных значений эмиссии, которые дезагрегируют до уровня более мелких объектов, используя определенные легкодоступные статистические данные, которые можно связать с определенным родом деятельности. Такой метод оценки выбросов парниковых газов часто называют инвентаризацией «сверху-вниз». Для разных источников эмиссии используют разные статистические показатели, на основе которых осуществляют дезагрегацию. Например, для дезагрегации общенациональных эмиссий в промышленном секторе используется значение валовой добавленной стоимости, количество населения, площадь промышленных объектов. Для инвентаризации эмиссий парниковых газов в добывающей промышленности: количество добываемого топлива на одном месторождении, мощности заводов и т.п.

Методика оценки эмиссий парниковых газов «сверху-вниз» значительно проще в использовании по сравнению с методикой «снизу – вверх» и требует меньше ресурсов для ее проведения. Но использование меньшего объема статистического материала обуславливает и определенные неточности в вычислениях. Результаты инвентаризации являются приближенными, не учитывают расположение всех источников эмиссии и специфику коэффициентов эмиссии на исследуемой территории. Представленный в этой диссертации подход является гибридный, он сочетает в себе элементы, как метода «снизу - вверх», так и метода «сверху - вниз». В частности, сама пространственная инвентаризация осуществляется методом «снизу-вверх», вместо этого при этом используются в качестве входных данных определенные индикаторы (прокси данные), которые получены методом «сверху – вниз».

Заключение

Таким образом, несмотря на значительные изменения и рост количества исследований по данной теме, данная проблема не потеряла своей актуальности. До конца не изучена вся группа факторов, оказывающих влияние на процессы эмиссии и потребления CO₂. Усовершенствование системы национального мониторинга – это задача, которая требует разработки новой методологической основы, отличающейся от той, которая применяется при создании

национального кадастра и прогнозировании выбросов парниковых газов. Особое внимание должно уделяться своевременной оценке антропогенной эмиссии парниковых газов и разработке методов прогнозирования ее компонентов.

Список литературы

1. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. [в 5 т.] / [Х. С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара, К. Танабе (редакторы)]. ИГЕС, Япония, 2006. Т. 1: Общие руководящие указания и отчетность. 2006. 309 с.
2. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. [в 5 т.] / [Х. С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара, К. Танабе (редакторы)]. ИГЕС, Япония, 2006. Т. 2: Энергетика. 2006. 309 с.
3. Сухоруков В.В., Трубник Р.Е., Федоров Ю.А. Аналитический обзор: эмиссия и поглощение метана почвами // Экологические проблемы. Взгляд в будущее. 2020. С. 610 - 619.
4. Bahn M., Kutsch W.L., Heinemeyer A., Janssens I.A. Appendix: Towards Standardized Protocol for the Measurement of Soil CO₂ Efflux Soil Carbon Dynamics. An Integrated Methodology // Cambridge Univ. Press. 2012. Pp. 272-281.
5. Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.0. / [EC-JRC/PBL]. – 2009. Available at: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>
6. Heinemeyer A., McNamara N.P. Comparing the closed static versus the closed dynamic chamber flux methodology: implications for soil respiration studies // Plant Soil. 2011. Pp. 145-151.
7. Jonas M. Prior to economic treatment of emissions and their uncertainties under the Kyoto Protocol: scientific uncertainties that must be kept in mind / M. Jonas, S. Nilsson / Accounting for climate change. Uncertainty in greenhouse gas inventories – verification, compliance, and trading. – Springer, 2007. – P. 75-91.

References

1. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories of the IPCC, 2006. [in 5 vols] / [H.S. Iggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe (editors)]. IGES, Japan, 2006. Vol. 1: General guidelines and reporting. 2006. 309 p.
2. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories of the IPCC, 2006. [in 5 vols] / [H.S. Iggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe (editors)]. IGES, Japan, 2006. Vol. 2: Energy. 2006. 309 p.
3. Sukhorukov V.V., Trubnik R.E., Fedorov Yu.A. Analytical review: methane emission and absorption by soils // Ecological problems. A Look into the Future. 2020. PP. 610 - 619.
4. Bahn M., Kutsch W.L., Heinemeyer A., Janssens I.A. Appendix: Towards Standardized Protocol for the Measurement of Soil CO₂ Efflux Soil Carbon

- Dynamics. An Integrated Methodology // Cambridge Univ. Press. 2012. Pp. 272-281.
5. Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.0. / [EC-JRC/PBL]. – 2009. Available at: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>
 6. Heinemeyer A., McNamara N.P. Comparing the closed static versus the closed dynamic chamber flux methodology: implications for soil respiration studies // Plant Soil. 2011. Pp. 145-151.
 7. Jonas M. Prior to economic treatment of emissions and their uncertainties under the Kyoto Protocol: scientific uncertainties that must be kept in mind / M. Jonas, S. Nilsson / Accounting for climate change. Uncertainty in greenhouse gas inventories – verification, compliance, and trading. – Springer, 2007. – P. 75-91.

**Карташова Н.П., Шешницан С.С., Кулакова Е.Н.,
Кулаков В.Ю., Ирковский Э.Р.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Оценка фракционированных запасов фитомассы в дубравах и борах
Центральной лесостепи Русской равнины
(на примере Воронежской области)**

Аннотация. Характер растительности и продуктивность растительного покрова складываются под влиянием многих факторов, из которых главнейшим и всеобщим является климатический. В настоящее время активизировались исследования экологических функций леса, в частности, их роли в глобальном углеродном цикле. В статье проведена оценка запасов фитомассы в основных ярусах (древостой, подрост, подлесок) лесных экосистем дубрав и боров в лесорастительных условиях Воронежской области. Показано, что структура фитомассы насаждений в дубравах и борах достаточно специфична. Суммарные запасы фитомассы составляют от 236,5 т/га в дубраве до 261,8 т/га в сосновом лесу. На долю подроста и подлеска приходится около 1,5% суммарной фитомассы, при этом вклад подземной фитомассы в этих ярусах может существенно изменяться в зависимости от типа лесорастительных условий.

Ключевые слова: фитомасса, аллометрические модели, модельное дерево, соотношение надземной и подземной фитомассы, Центральная лесостепь.

**Kartashova N.P., Sheshnitsan S.S., Kulakova E.N.,
Kulakov V.U., Irkovsky E.R.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Evaluation of fractionated phytomass stocks in oak and pine forests
of the Central forest-steppe of the Russian Plain:
a case study in the Voronezh region**

Abstract. The productivity and nature of vegetation is influenced by various factors, with climate being the most significant of these. The ecological functions of forests, particularly their role in the global carbon cycle, are currently the subject of current research. Phytomass stocks in the main canopy layers (tree stand, undergrowth, understory) of forest ecosystems of oak and pine forests in the forest growth conditions of the Voronezh region were evaluated. The study demonstrated the specific phytomass

structure of oak and pine forest stands. The total phytomass stocks varied from 236.5 t · ha⁻¹ in oak forests to 261.8 t · ha⁻¹ in pine forests. The undergrowth and understory have contributed approximately 1.5% of the total phytomass, while the contribution of underground phytomass in these layers can vary considerably depending on the type of forest growth conditions.

Key words: phytomass, allometric models, model tree, root-to-shoot ratio, Central forest-steppe.

1. Введение

Современная климатическая повестка в нашей стране связана с признанием того факта, что оценка углерододепонирующей способности лесов может обеспечить нашей стране существенные экологические и экономические выгоды [1], а сдерживающим фактором в реализации этой задачи является недостаточный объем экспериментальных материалов об аккумуляровании углерода в фитомассе и годичной продукции лесных биогеоценозов [2].

Исследования биологической продуктивности лесных насаждений исторически сложились так, что в первую очередь изучалась их фитомасса, выраженная в тоннах абсолютно сухого вещества на 1 га. В нашей стране основная цель таких исследований имела как ресурсоведческий, так и биогеоценотический аспекты [3]. В первом случае ставилась задача комплексного использования лесных ресурсов, а во втором – исследовался круговорот веществ и энергии в лесных экосистемах. В целом, несмотря на большое количество исследований фитомассы лесов, многие аспекты этой проблемы требуют дальнейшего изучения и обобщения в соответствии с новыми экологическими программами. В частности, актуальными, в том числе и в районе исследований, остаются вопросы оценки вклада всех ярусов растительности в формирование общей фитомассы насаждений и ее годичной продукции, которые необходимы при оценках запасов углерода и экосистемных функций лесов.

Целью настоящего исследования являлась оценка запасов фитомассы в основных ярусах (древостой, подрост, подлесок) лесных экосистем дубрав и боров в лесорастительных условиях Воронежской области.

2. Материалы и методы

Исследования проводились на территории Пригородного лесничества Воронежской области – в Левобережном участковом лесничестве (квартал № 60, выдел 11) и Правобережном участковом лесничестве (квартал № 47, выдел 3) на постоянных пробных площадях. Для сравнения фракционного состава биомассы надземной и подземной фитомассы и дальнейшего ее анализа взяты два совершенно разных участка, которые отличаются по составу и условиям произрастания. Так, в Левобережном лесничестве исследования проводили в чистом сосновом древостое, а в Правобережном лесничестве – в смешанных лиственных насаждениях дуба черешчатого с примесью липы мелколистной, клена остролистного, ясеня обыкновенного. На выбранных участках исследовалась фракционная структура фитомассы древостоя на уровне деревьев/кустарников (кг) и насаждения (кг/га).

В основу исследования положен метод пробных площадей и модельных деревьев. Пробные площади заложены с учетом требований ОСТ 56-69-83. Для определения фитомассы деревьев и кустарников использовали аллометрические модели фитомассы [4]. В качестве определяющих факторов использовались данные сплошного перечёта на пробных площадях – диаметр ствола и высота деревьев:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln H + a_2 \ln DBH,$$

где P_i – фитомасса в абсолютно сухом состоянии надземной части и корней (соответственно P_a и P_r), кг; H – высота дерева, м; DBH – диаметр ствола на высоте груди, см.

Кроме того, для верификации аллометрических моделей в конце июля – начале августа после полного формирования листвы и хвои текущего года отобраны модельные деревья и кустарники. Возраст устанавливался по числу годичных колец на пне или на основе анализа кернов.

Для перевода фракций фитомассы из свежесрубленного состояния в абсолютно сухой вес взяты образцы древесины, древесной зелени (хвоя, листья), живых и сухих сучьев, корня сосны, березы, дуба, клена остролистного для высушивания в сушильном шкафу при температуре $80 \pm 2^\circ\text{C}$ до постоянного веса.

3. Результаты и их обсуждение

Изменение климата и связанные с этим глобальные проблемы заставили по-новому взглянуть на роль лесов и выполняемые ими функции, в том числе и на их роль в глобальном цикле углерода. Такая постановка вопроса и обусловила повышение интереса исследователей к проблеме определения общей фитомассы древостоев, в которых сосредоточена значительная часть углерода лесных экосистем [5]. Таксационная характеристика исследованных лесных насаждений приведена в таблице 1. Постоянные пробные площади были заложены в наиболее распространённых типах лесорастительных условий: в дубраве осоково-снытевой (C_2D) и сосняке травяном с дубом (B_2).

Таблица 1 – Таксационная характеристика исследованных лесных насаждений в Пригородном лесничестве Воронежской области

Тип леса	Состав насаждения	D, см	H, м	A, лет	Класс бонитета	Полнота	Запас, м ³ /га
Дубрава осоково-снытевая (C_2D)	3Д5Лп2Кло	24,6	19,9	100	III	0,8	271
Сосняк травяной с дубом (B_2)	10С	42,2	29,6	140	I	0,9	457

Примечание: С – сосна обыкновенная, Д – дуб черешчатый, Лп – липа мелколистная, Кло – клен остролистный.

Из данных таблицы 1 следует, что насаждения в обоих типах леса относятся к высокополнотным спелым (сосняк) и перестойным (дубрава) насаждениям, при этом запас отличается более чем в 1,5 раза. Так, если в сосняке с запасом 457 м³/га основную долю составляет сосна обыкновенная (451 м³/га), а на долю берёзы и дуба приходится соответственно 4,5 и 1,8 м³/га, то в дубраве с

запасом 271 м³/га основная доля приходится на липу мелколистную (120 м³/га), а на главную породу – дуб черешчатый – только 86 м³/га. Оставшиеся 63 м³/га приходится на клён остролистный.

Полученные результаты позволяют провести табулирование по данным сплошных перечётов деревьев и измерений модельных деревьев и кустарников и рассчитать запасы фитомассы на единицу площади. По результатам обработки всего массива экспериментальных данных были получены суммарные и фракционированные запасы фитомассы по ярусам, которые обобщены в таблице 2.

Таблица 2 – Суммарные и фракционированные запасы фитомассы (в кг/га абс. сух. массы) в нагорной дубравае и сосняке Пригородного лесничества Воронежской области

Тип леса	Компоненты фитомассы	Надземная фитомасса	Подземная фитомасса	Суммарная фитомасса	Соотношение R : S
Дубрава осоково-снытевая (C ₂ D)	Древостой, в т.ч.	176651,9	56440,7	233092,6	0,320
	дуб	61379,6	17922,8	79302,4	0,292
	клен	51010,4	14538,0	65548,4	0,285
	липа	63425,4	23847,9	87273,3	0,376
	ясень	836,5	132,0	968,5	0,158
	Подрост	1264,6	1957,9	3222,5	1,548
	Подлесок	188,6	26,9	215,5	0,143
	<i>ВСЕГО</i>	<i>178105,1</i>	<i>58425,5</i>	<i>236530,6</i>	<i>0,328</i>
Сосняк травяной с дубом (B ₂)	Древостой, в т.ч.	191859,7	66391,3	258251,0	0,346
	сосна	187038,8	64936,0	251974,8	0,347
	дуб	2095,0	611,7	2706,7	0,292
	осина	10,2	3,1	13,3	0,304
	береза	2715,6	840,5	3556,1	0,310
	Подрост	1288,2	1983,9	3272,1	1,540
	Подлесок	93,6	184,1	277,7	1,967
	<i>ВСЕГО</i>	<i>193241,4</i>	<i>68559,3</i>	<i>261800,7</i>	<i>0,355</i>

Примечание: R: S – соотношение подземной и надземной фитомассы

Рассчитанные с использованием аллометрической модели величины фитомассы деревьев и полученные экспериментальным путём данные на пробных площадях незначительно, в среднем на 0,1%, расходятся между собой. Данные запасов фитомассы с пробных площадей позволяют произвести расчёты запасов надземной части фитомассы на всех пробных площадях и на 1 га леса в насаждениях в возрасте 100–140 лет. Зная продуктивность насаждений на одном гектаре леса, можно определить продуктивность всех насаждений изучаемой породы, определённого возраста и условий местопроизрастания.

Были определены запасы надземной и подземной части фитомассы модельных деревьев по породам в каждом насаждении. Из таблицы 2 следует,

что запас фитомассы по результатам произведённых расчётов составил в дубраве осоково-снытевой в возрасте 100 лет – 236,5 т/га, в 140-летнем сосняке травяном с дубом – 261,8 т/га. Таким образом, в исследуемых насаждениях, произрастающих в разных лесорастительных условиях, средний прирост по древесной фитомассе составил около 1,8 т/га (чистые сосновые насаждения) и 2,3 т/га (смешанные лиственные насаждения). Заметим, что несмотря на более низкий бонитет и относительную полноту в дубраве, запасы фитомассы оказались сопоставимыми с таковыми в сосняке, в то время как средний прирост по фитомассе – выше.

Весьма интересные закономерности выявляются при анализе соотношения подземной и надземной фитомассы (соотношение $R : S$ в таблице 2). Оказалось, что если рассматривать это соотношение для древостоя, то в обоих типах лесорастительных условий оно находится на сопоставимом уровне: 0,346 – в сосняке и 0,320 – в дубраве. В ярусе подроста и подлеска это соотношение меняется в сторону увеличения доли подземной фитомассы, причём более существенное увеличение характерно для условий B_2 , где конкуренция за почвенные ресурсы среды является более острой. Например, если для подроста в обоих случаях соотношение оказывается близким (1,548 и 1,540 в дубраве и сосняке соответственно), то подлесочные породы в сосняке формируют мощную корневую систему, фитомасса которой почти в 2 раза превышает надземную фитомассу.

Вклад ярусов лесных экосистем в суммарные запасы фитомассы графически представлен на рисунке 1.

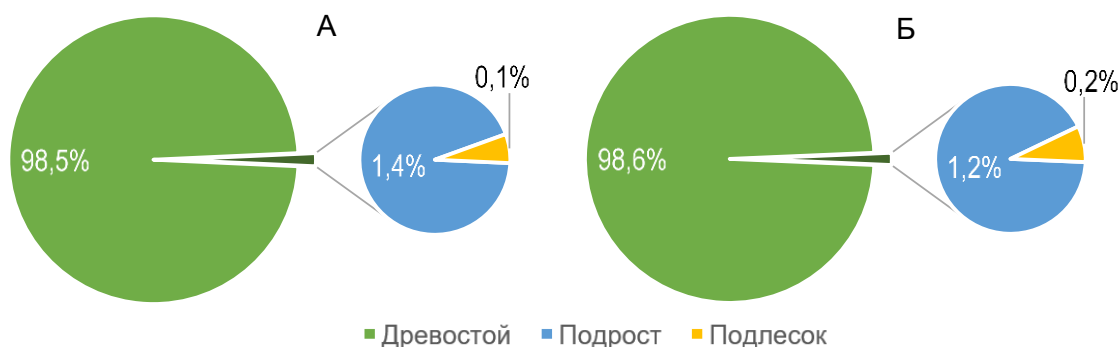


Рисунок 1 – Соотношение компонентов фитомассы в нагорной дубраве (А) и сосняке (Б) Пригородного лесничества Воронежской области

Очевидно, что в обоих типах леса наблюдаются сходные соотношения компонентов фитомассы, при этом её основу (не менее 98,5%) формирует, как правило, древостой. Соотношение вклада подроста и подлеска несколько изменяется в сосняке, однако в целом, суммарная фитомасса этих ярусов не превышает 1,5% от общих запасов.

4. Заключение

Фитомасса является важнейшей характеристикой функционирования лесных экосистем. Структура фитомассы насаждений в дубравах и борах

достаточно специфична. Больше половины фитомассы заключено в стволах деревьев преобладающих пород; надземная фитомасса подроста меньше, чем подземная как в дубраве, так и в сосняке. В подлеске более значительной оказывается подземная фитомасса в сравнении с надземной. Несмотря на различия в типах лесорастительных условий, запасах древесины и бонитете, хвойные и лиственные насаждения Центральной лесостепи могут иметь сходные запасы фитомассы, сосредоточенной в основном в древесном компоненте. Так, в дубраве суммарные запасы фитомассы достигают 236,5 т/га, а в сосняке – 261,8 т/га. На долю подроста и подлеска приходится около 1,5% суммарной фитомассы, при этом вклад подземной фитомассы в этих ярусах может существенно изменяться в зависимости от типа лесорастительных условий.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000012-7 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)».

The study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000012-7 "Biogeochemical monitoring of the carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)").

Список литературы

1. Вараксин Г.С., Поляков В.И., Люминарская М.А. Биологическая продуктивность сосны обыкновенной в Средней Сибири // Лесоведение. 2008. № 3. С. 1419.
2. Усольцев В.А., Залесов С.В. Депонирование углерода некоторых экотонов и на лесопокрытых площадях УФО. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 223 с.
3. Ремезов, Н. П. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах Европейской части СССР [Текст] / Н. П. Ремезов, Л. Н. Быкова, К. М. Смирнова. - Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1959. - 284 с.
4. Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Chasovskikh V.P. Comparing of allometric models of single-tree biomass intended for airborne laser sensing and terrestrial taxation of carbon pool in the forests of Eurasia // Natural Resource Modeling. 2019. Vol. 32, № 1. P. e12187.
5. Заварзин Г.А., Котляков В.М. Стратегия изучения Земли в свете глобальных изменений // Вестник РАН. 1998. Т. 68 (1). С. 23–29.

References

1. Varaksin G.S., Polyakov V.I., Luminarskaya M.A. Biological productivity of scots pine in Central Siberia // Forest science. 2008. No. 3. p. 1419.

2. Usoltsev V.A., Zalesov C.B. Carbon deposition of some ecotones and on forested areas of the Ufa. Yekaterinburg: UGLTU, 2005. 223 p.
3. Remezov, N. P. Consumption and circulation of nitrogen and ash elements in the forests of the European part of the USSR [Text] / N. P. Remezov, L. N. Bykova, K. M. Smirnova. - Moscow: Publishing house of Moscow. un-ta, 1959. - 284 p.
4. Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Chasovskikh V.P. Comparing of allometric models of single-tree biomass intended for airborne laser sensing and terrestrial taxation of carbon pool in the forests of Eurasia // Natural Resource Modeling. 2019. Vol. 32, № 1. P. e12187.
5. Zavarzin G.A., Kotlyakov V.M. The strategy of studying the Earth in the light of global changes // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 1998. Vol. 68 (1). pp. 23-29.

Кочергина М.В., Фурменкова Е.С., Зимарин М.С.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

К проблеме реконструкции скверов в городе Воронеже

Аннотация. Скверы являются наиболее распространённым типом городских насаждений. Они относятся к объектам озеленения общего пользования и доступны всем категориям населения. В настоящее время для города Воронежа актуальность проблемы реконструкции скверов обусловлена двумя основными причинами – высоким возрастом насаждений и противоречиями между исторической планировкой объектов и современными потребностями жителей. В работе приведены результаты изучения современного состояния сквера Героев Стратосферы города Воронежа. Проведена ландшафтно-экологическая оценка территории, включающая определение типа пространственной структуры, санитарно-гигиенических и эстетических характеристик сквера, инвентаризация растительности. Выполнено функциональное зонирование, предложены мероприятия по оптимизации дорожно-тропиночной сети, разработан ассортимент растений. Предложенные мероприятия направлены на повышение устойчивости насаждений и их эстетической привлекательности, что будет способствовать более комфортному пребыванию отдыхающих на территории сквера.

Ключевые слова: сквер, ландшафтно-экологическая оценка, функциональные зоны, рекреационная нагрузка, устойчивость насаждений.

Kochergina M.V., Furmenkova E.S., Zimarin M.S.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G. F. Morozov, Voronezh*

To the problem of reconstruction of Voronezh city's squares

Abstract. Squares are the most common type of urban plantings. They belong to public gardening facilities and are accessible to all categories of the population. Currently, for the city of Voronezh, the urgency of the problem of reconstruction of squares is due to two main reasons – the high age of plantings and contradictions between the historical layout of objects and the modern needs of residents. The paper presents the results of studying the current state of the square of Heroes of the Stratosphere of the city of Voronezh. A landscape and ecological assessment of the territory was carried out, including the definition of the type of spatial structure,

sanitary and hygienic and aesthetic characteristics of the square, an inventory of vegetation. Functional zoning has been carried out, measures have been proposed to optimize the road and path network, and an assortment of plants has been developed. The proposed measures are aimed at increasing the stability of plantings and their aesthetic appeal, which will contribute to a more comfortable stay of vacationers on the territory of the square.

Key words: square, landscape and ecological assessment, functional zones, recreational load, stability of plantings.

1. Введение

Наиболее распространённой категорией городских зелёных насаждений являются скверы. Скверами называются озеленённые и благоустроенные территории, расположенные внутри жилой или промышленной застройки. Они относятся к объектам озеленения общего пользования и доступны всем категориям населения. Насаждения скверов защищают нас от пыли, избыточной солнечной радиации, создавая комфортные условия для кратковременного или более продолжительного отдыха, занятий физкультурой и спортом, проведения культурно-просветительных и зрелищно-развлекательных мероприятий. Как правило, площадь сквера в зависимости от его типа составляет 0,1...2 га [3,5].

В настоящее время для города Воронежа актуальность проблемы реконструкции объектов озеленения общего пользования, в том числе скверов, обусловлена двумя основными причинами – высоким возрастом значительной части зелёных насаждений и противоречиями между исторической планировкой объектов и современными потребностями посетителей [4,7,8]. Насаждения парков и скверов, созданные более полувека назад, нуждаются в реконструкции, в восстановлении ландшафтно-архитектурного облика и средозащитных свойств.

Цель настоящей работы – оценить состояние сквера Героев Стратосферы (г. Воронеж) и предложить мероприятия, направленные на его реконструкцию с учётом повышения устойчивости, эстетической привлекательности и комфортности для посетителей.

2. Материалы и методы

Объектом исследований является сквер Героев Стратосферы. Площадь объекта составляет 1,5 га. Сквер расположен в Левобережном районе – одном из старейших районов города Воронежа. На протяжении всего периода существования район является промышленным, в котором сосредоточены крупные действующие предприятия. В таких условиях возрастает значимость зелёных насаждений, как одного из факторов стабилизации окружающей среды. Поэтому актуальными являются вопросы, касающиеся изучения состояния растений на подобных объектах, а также разработка рекомендаций по повышению их устойчивости.

Сквер и одноимённая улица, примыкающая к нему, получили название в честь советских аэронавтов, трагически погибших при изучении стратосферы.

Ландшафтно-таксационное изучение территории сквера проводилось с использованием оценочных шкал. Тип пространственной структуры

определялся исходя из показателей полноты древостоя, характера и плотности размещения растений, а также сомкнутости полога. При оценке декоративности насаждений использовали методику О. С. Зальвской, Н. А. Бабича [1]. Она основана на балльной оценке таких критериев насаждения, как санитарное состояние, декоративные качества ствола и кроны, характеристика цветения и облиствения.

Пригодность насаждений к выполнению санитарно-гигиенических и оздоровительных функций определяется способностью образующих его растительных видов продуцировать кислород, обогащать среду фитонцидами и ионизировать воздух.

В насаждениях сквера была проведена сплошная инвентаризация растений, включающая сплошной перечень деревьев с распределением на следующие категории: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – погибшие [6]. Состояние кустарников, цветников и газонов оценивалось по трём категориям: хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное.

Сквер расположен в восточной части города на левом берегу Воронежского водохранилища. С южной и восточной сторон его территория граничит с жилой застройкой, к северной границе сквера примыкает территория АО «Воронежское акционерное самолётостроительное общество». Вдоль западной границы сквера располагается проезжая часть улицы Героев Стратосферы.

3. Результаты и их обсуждение

На территории сквера преобладает полуоткрытый тип пространственной структуры, характеризующийся изреженным древостоем с равномерным размещением деревьев. Проектом не предусмотрено изменение типа пространственной структуры.

Сквер является востребованным местом отдыха жителей Левобережного района, что приводит к его интенсивному круглогодичному посещению, в связи с чем значения рекреационных нагрузок приближаются к предельно допустимым. Их превышение приведёт к нарушению связей между биотическими элементами, дестабилизации насаждений и утрате устойчивости объекта в целом. Поэтому проектом необходимо предусмотреть более равномерное распределение отдыхающих по территории сквера.

Одним из мероприятий, направленных на регулирование рекреационных нагрузок на объектах озеленения, является функциональное зонирование и последующее благоустройство зон в соответствии с их назначением. Исходя из категории сквера, с учётом возрастной структуры жителей района, их потребностей в отдыхе были выделены прогулочная зона, детская зона и зона тихого отдыха. Большую часть территории (83%) должна занимать прогулочная зона, в ней проектируем удобную дорожную сеть, солитерные и групповые посадки растений, цветочное оформление. В наиболее отдалённой северной части территории предлагаем отвести небольшой участок (около 12%) под зону тихого отдыха. Предусматриваем размещение здесь скамеек и урн, высаживаем

низкорослые ландшафтные группы. В центральной части сквера размещаем детскую зону с игровыми площадками.

В целях оптимизации планировочной структуры сквера предлагаем в местах стихийной тропинойной сети (в прогулочной зоне и зоне тихого отдыха) проложить пешеходные дорожки с плиточным покрытием для удобства перемещения отдыхающих и снижения отрицательного воздействия на газон.

Согласно шкале О.С. Залывской, Н.А. Бабича [1], насаждения сквера имеют среднюю эстетическую оценку, суммарный балл составляет 22,5. В целях повышения декоративности насаждений в их состав необходимо ввести хвойные породы и красивоцветущие кустарники.

При проведении санитарно-гигиенической оценки насаждений учитывали их кислородную продуктивность, способность выделять фитонциды, регулировать микроклимат, снижать концентрацию пыли, уровень шума и загазованности воздуха. По многим перечисленным критериям тополь бальзамический и тополь пирамидальный, образующие насаждения сквера, имеют высокие показатели. В целях насыщения приземного воздуха фитонцидами и лёгкими отрицательными ионами можно рекомендовать посадку хвойных растений – различных видов и декоративных форм можжевельников, сортов туи западной, низкорослых форм сосен и елей [2].

На сегодняшний день видовой состав насаждений сквера представлен лиственными породами. Среди деревьев преобладают пирамидальный и бальзамический тополя. Единично встречаются клён остролистный и берёза повислая. Характеристика деревьев и особенности их текущего состояния представлены в таблице 1.

Таблица 1 -Сводная ведомость перечёта деревьев на территории сквера Героев Стратосферы

Вид растения	Количество, шт.	Средние показатели				Рекомендуемые мероприятия
		возраст, лет	диаметр _{1,3м} , см	высота, м	категория состояния	
Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera L.</i>)	16	55	48	16	2,6	Монито-ринг состоя-ния, санитар-ная обрезка
Тополь пирамидальный (<i>Populus pyramidalis L.</i>)	19	45	36	16	2,2	
Клён остролистный (<i>Acer platanoides L.</i>)	4	45	38	14	2,7	Индивидуальное лечение деревьев
Берёза повислая (<i>Betula pendula Roth</i>)	2	45	32	12	2,5	
Итого / в среднем	41	49	40	14	2,3	-

Как видно из табл. 1, средний возраст насаждений сквера составляет около 50 лет, при этом наиболее возрастными являются деревья тополя бальзамического, имеющие средний возраст 55 лет. Наиболее устойчивое состояние характерно для тополя пирамидального, средняя категория составляет 2,2, что указывает на незначительное ослабление деревьев. Более ослабленное состояние характерно для клёна остролистного, среди четырёх экземпляров которого один относится к 4 категории (усыхающее), и его необходимо удалить. Усреднённая категория состояния по всем породам сквера составляет 2,4, то есть происходит переход ослабленных деревьев в категорию сильно ослабленных. Основными факторами ослабления древостоя являются антропогенный прессинг (рекреационные нагрузки и связанные с ними механические повреждения стволов и ветвей, загрязнение почвы и воздуха автотранспортными и промышленными токсинами и обусловленные им нарушения физико-химических свойств среды). Ослабленные деревья более активно заселяются вредителями и возбудителями инфекционных болезней, которые ускоряют процесс усыхания. В таких условиях важен регулярный мониторинг состояния насаждений, своевременное выявление факторов ослабления деревьев, обнаружение с последующим удалением усыхающих экземпляров, при необходимости – проведение санитарных и лечебных мероприятий.

Кустарники на территории сквера представлены порослью вяза приземистого в незначительном количестве. Их состояние оценивается как неудовлетворительное, в связи с чем они рекомендуются к удалению. Проектом реконструкции территории сквера предусмотрено создание групп из красивоцветущих и декоративно лиственных кустарниковых видов.

Одним из недостатков современного состояния сквера является отсутствие в нём цветочного оформления. Поэтому запроектированы ленты из петунии гибридной вдоль дорожки, ведущей к жилой застройке.

Состояние газона на территории сквера можно оценить как удовлетворительное. Он имеет зелёный цвет, единично встречаются сорные виды, поверхность газона с заметными неровностями, площадь проективного покрытия около 80 %. Основные рекомендации – удаление сорняков, подсев травосмеси, регулярное кошение и агротехнические уходы.

Ассортимент проектируемой растительности представлен в посадочной ведомости (табл. 2).

Таблица 2 -Ассортиментная ведомость

№ п/п	Наименование растений	Площадь компонента озеленения, м ²	Количество растений, шт.			Вид посадки
			дерево	кустарники	цветочные растения	
1	2	3	4	5	6	7
1	Ель колючая «Глаука» – <i>Picea pungens</i> « <i>Glauca</i> »	8	16	-	-	Группа
2	Ель колючая «Костер» – <i>Picea pungens</i> « <i>Koster</i> »	1,5	3	-	-	Солитер

1	2	3	4	5	6	7
3	Туя западная «Смарагд» – <i>Thuja occidentalis</i> «Smaragd»	1,5	-	5	-	Группа
4	Туя западная «Глобоза ауреа» – <i>Thuja occidentalis</i> «Globosa aurea»	0,9	-	3	-	Солитер
5	Сосна горная «Мугус» – <i>Pinus mugo</i> «Mughus»	1,8	-	6	-	Группа
6	Сосна горная «Гном» – <i>Pinus mugo</i> «Gnom»	1,5	-	5	-	Группа
7	Можжевельник средний «Пфитцериана ауреа» – <i>Juniperus x-media</i> «Pfitzeriana aurea»	0,9	-	3	-	Группа
8	Можжевельник казацкий «Тамарисцифолия» – <i>Juniperus sabina</i> «Tamariscifolia»	0,9	-	3	-	Солитер
9	Спирея Вангутта – <i>Spiraea vanhouttei</i> (Briot) Zbl	20	-	80	-	Живая изгородь
110	Спирея японская «Лител принцесс» – <i>Spiraea japonica</i> «Little Princess»	1,2	-	4	-	Группа
111	Спирея японская «Голден принцесс» – <i>Spiraea japonica</i> «Golden Princess»	2,4	-	8	-	Группа
112	Барбарис Тунберга – <i>Berberis Thunbergii</i> DC	2,1	-	7	-	Группа
113	Дёрен белый «Сибирика» – <i>Cornus alba</i> «Sibirica»	2,7	-	9	-	Группа
114	Петуния гибридная – <i>Petunia hybrida hort. ex E.Vilm.</i>	60	-	-	350	Лента
ИТОГО		105,4	19	133	350	-

Таким образом, проектом предусмотрена высадка на территории сквера 19 экземпляров деревьев, 133 экземпляров кустарников и 350 штук однолетников. Основными типами посадок являются ландшафтные группы и солитер. Места высадки растений приурочены к открытым пространствам и точкам пересечения пешеходных дорожек. Солитеры и ландшафтные группы выступают композиционными узлами, зададут стилистику всему скверу и визуально увеличат пространство. Живая изгородь запроектирована по периметру детской площадки, на неё возложены барьерная и декоративная функции. Ассортимент растений подбирался исходя из их биоэкологических и декоративных особенностей и местных условий произрастания. Особое

внимание уделялось устойчивости растений к урбосреде. Предпочтения отданы хвойным видам, а также красивоцветущим и декоративно лиственным кустарникам. Помимо высокой фитонцидной активности, хвойные породы обладают круглогодичной декоративностью. Кустарниковые виды придадут выразительность архитектурно-художественному облику сквера.

В результате предлагаемых мероприятий по реконструкции сквера площадь газона уменьшится на 15% за счёт увеличения площади дорожек и детских площадок, а также посадки древесно-кустарниковых видов и создания цветочных лент.

4. Заключение

Таким образом, проект реконструкции сквера включает разделение его территории на функциональные зоны, каждая из которых обустраивается в соответствии с назначением, размещение новых дорожек, посадку древесно-кустарниковых растений, а также цветочное оформление. Считаем, что предложенные мероприятия будут способствовать равномерному распределению рекреантов на территории сквера, сохранению жизнеспособности насаждений, повышению санитарно-гигиенической значимости и эстетических характеристик сквера.

Список литературы

1. Зальвская, О.С. Оценка декоративности насаждений / О.С. Зальвская, Н.А. Бабиц // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2020. – № 6. – С. 98 – 110. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-98-110
2. Кочергина, М.В. Фитонцидная активность хвойных: особенности сезонной динамики и использование в ландшафтном дизайне / М.В. Кочергина // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Музей-заповедник: экология и культура». – 2010. – С. 94 – 96.
3. Лепехова, М.С. Сквер как часть системы городского озеленения //М.С. Лепехова // Евразийский союз учёных. – 2014. – № 8. – С. 158 – 159.
4. Михайлова, Т.В. Архитектурно-градостроительные проблемы реконструкции ландшафтно-исторической среды районов сложившейся застройки на примере г. Воронежа / Т.В. Михайлова, Е.В. Золотухина, И.С. Московкина, Д.О. Бугаевский // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – URL: <http://scienceforum.ru/2016/article/2016027051>><https://scienceforum.ru/2016/article/2016027051> (дата обращения: 02.09.2023).
5. Положение о создании, содержании реконструкции зелёных насаждений на территории городского округа город Воронеж / Утв. решением Воронежской городской думы № 762 от 11 апреля 2012 г. – URL: https://voronezh-city.ru/administration/normative_base/detail/7417 (дата обращения 02.09.2023).
6. Правила санитарной безопасности в лесах / Утв. Постановлением Правительства Российской Федерации № 2047 от 9 декабря 2020 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (дата обращения 02.09.2023).

7. Разинкова, А.К. Долголетие и жизнеспособность деревьев в городских посадках (на примере г. Воронежа) / А.К. Разинкова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №2. – URL:<https://science-education.ru/ru/article/view?id=12297> (дата обращения: 02.09.2023).
8. Семёнов. В.Н. Комплексное развитие инженерной инфраструктуры туристического маршрута «Старый Воронеж» в городском округе г. Воронеж /В.Н. Семёнов, Т.В. Михайлова, О.Н. Ермоленко // Градостроительство. – 2014. – №5. – С. 79–82.

References

1. Zalyvskaya, O.S. Evaluation of decorative plantings / O.S. Zalyvskaya, N.A. Babich // *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* – 2020. – No. 6. – pp. 98 – 110. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-98-110
2. Kochergina, M. V. Phytoncidal activity of conifers: features of seasonal dynamics and use in landscape design / M.V. Kochergina // *Materials of the IV All-Russian scientific and practical conference "Museum-Reserve: ecology and culture".* - 2010. – pp. 94-96.
3. Lepekhova, M. S. Square as part of the urban landscaping system // *M.S. Lepekhova // Eurasian Union of Scientists.* - 2014. – No. 8. – pp. 158 – 159.
4. Mikhailova, T.V., Zolotukhina, E.V., Moskovkina, I.S., Bugaevsky, D. O. Architectural and town-planning problems of reconstruction of landscape-historical environment of areas of existing development on the example of Voronezh / T.V. Mikhailova, E.V. Zolotukhina, I.S. Moskovkina, D.O. Bugaevsky // *Materials of the VIII International Student Scientific Conference "Student scientific forum".* – URL: [http:// scienceforum.ru/2016/article/2016027051](http://scienceforum.ru/2016/article/2016027051) "><https://scienceforum.ru/2016/article/2016027051> (accessed 02.09.2023).
5. Regulations on the creation, maintenance and reconstruction of green spaces on the territory of the Voronezh City district / Approved. By the decision of the Voronezh City Duma No. 762 of April 11 , 2012 . – URL: https://voronezh-city.ru/administration/normative_base/detail/7417 (accessed 02.09.2023).
6. Rules of sanitary safety in forests / Approved. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 2047 of December 9 , 2020 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (accessed 02.09.2023).
7. Razinkova, A.K. Longevity and viability of trees in urban plantings (on the example of Voronezh) / A.K. Razinkova // *Modern problems of science and education.* – 2014. – №2. – URL:<https://science-education.ru/ru/article/view?id=12297> (date of address: 02.09.2023).
8. Semenov V.N. Complex development of engineering infrastructure of the tourist route "Old Voronezh" in the Voronezh city district / V.N. Semenov, T.V. Mikhailova, O.N. Ermolenko // *Urban planning.* – 2014. – No. 5. – pp. 79-82.

Лесные культуры как объект улучшения санитарно-гигиенических условий курортных зон Кавказа

Аннотация. В работе проведена эколого-экономическая оценка искусственных лесных насаждений, расположенных в курортных зонах Северного Кавказа. Изучены лесные культуры, произрастающие на территории Карачаево-Черкесской Республики (Кубанское лесничество). Исследования проводились на территории трех участковых лесничеств: Пригородное, Холодно-Родниковское, Джегутинское. Культуры расположены в одинаковых условиях местопроизрастания чистые и смешанные по составу. При изучении культур учитывалась в первую очередь экологическая роль искусственных насаждений, а потом сырьевая. Расчеты начаты с определения количество депонированного углерода, поглощенного углекислого газа и выделенного кислорода фитомассой древостоев. Максимальное количество углекислого газа во всех участковых лесничествах поглощается фитомассой культур ясеня обыкновенного 931,9 т/га и дуба черешчатого 476,7 т/га. К этому же возрасту ясень обыкновенный выделил и максимум кислорода – 690,8 т/га, дуб черешчатый – 353,2 т/га.

Самое минимальное количество поглощения углекислого газа и выделения кислорода отмечено в культурах вяза приземистого Холодно- Родниковского участкового лесничества и составляет: углекислый газ - 158 т/га; кислород – 117,3 т/га.

Ключевые слова: зеленые насаждения, лесные культуры, санитарно-гигиенические условия, экологические показатели, Северный Кавказ

Kulakova E.N.

Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh

Forest crops as an object for improving the sanitary and hygienic conditions of the resort areas of the Caucasus

Abstract. The work carried out an ecological and economic assessment of artificial forest plantations located in the resort areas of the North Caucasus. The forest crops growing on the territory of the Karachay-Cherkess Republic (Kuban forestry)

have been studied. The studies were carried out on the territory of three district forestries: Prigorodnoye, Kholodno-Rodnikovskoye, Dzhegutinskoye. Cultures are located in the same growing conditions, clean and mixed in composition. When studying crops, the ecological role of artificial plantations was taken into account, and then the raw material one. The calculations started with determining the amount of deposited carbon, absorbed carbon dioxide and released oxygen by the phytomass of forest stands. The maximum amount of carbon dioxide in all district forestries is absorbed by the phytomass of common ash 931.9 t/ha and English oak 476.7 t/ha. By the same age, common ash also allocated a maximum of oxygen - 690.8 t/ha, pedunculate oak - 353.2 t/ha. The minimum amount of carbon dioxide absorption and oxygen release was noted in the squat elm cultures of Kholodno- Rodnikovsky district forestry and is: carbon dioxide - 158 t/ha; oxygen - 117.3 t/ha.

Key words: green spaces, forest crops, sanitary and hygienic conditions, environmental indicators, North Caucasus

1. Введение

Зеленые насаждения являются уникальным созданием природы роль, которых очень многогранна и многофункциональна. Принимают участие в круговороте веществ в природе, формировании климата, создании оптимальных условий для труда и отдыха человека. Как естественные, так и искусственные зеленые насаждения, а также лес, луга, поля, парки, одиночные посадки деревьев, обладают способностью изменять и улучшать климат, придавать окружающей среде комфортные и высокие санитарно-гигиенические свойства. Зеленые насаждения способны поглощать углекислоту и выделять кислород, выполняя в биосфере космическую роль, которая выражается двумя функциями:

- 1) Создают первичное органическое вещество из неорганических веществ (CO_2 , воды, минеральных веществ);
- 2) В процессе своей жизни они выделяют в атмосферу свободный кислород, чем регулируется газовый состав атмосферы.

В процессе фотосинтеза происходит поглощение солнечной энергии, углекислого газа и воды, образуется прирост органического вещества (депонирование углерода) и выделяется кислород. При образовании 1 т абсолютно сухого вещества древесины поглощается 1,8 т углекислого газа и выделяется около 1,4 т кислорода. Вместе с тем насаждения уменьшают концентрацию находящихся в воздухе вредных примесей: сероводорода, окиси азота, фтористого водорода, окиси углерода, паров кислот и т.д. При этом следует подчеркнуть, что зеленые насаждения могут оказывать глобальное (городскую среду) или локальное (местное воздействие) на микроклимат и другие показатели комфортности среды на территории небольшого по масштабам района или даже в пределах всего зеленого насаждения.

Основываясь на вышеизложенном нами, была проведена эколого-экономическая оценка лесных ресурсов, с учетом не только сырьевой, но и экологической роли, позволяющая разработать оптимальные решения проблем лесоустройства (где и как рубить, и что необходимо восстанавливать в первую очередь). Для оптимизации механизма управления, в первую очередь

необходима экономическая оценка природных ресурсов. Зеленые насаждения защищают почву от эрозии, обеспечивают стабильность гидрологического режима рек и водосборов, снабжают атмосферу кислородом, биологически активными веществами, очищают от вредных примесей, создают оптимальные условия окружающей среды и при этом играют огромную экологическую роль.

Экологическая роль леса, проявляется через систему свойств и функций, которые обеспечивают выполнение основной его функции – продуцирование органического вещества и аккумуляции свободной энергии, необходимых для осуществления биологических процессов [3,6]. В настоящее время в связи с риском глобального потепления климата вследствие увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, в результате антропогенного воздействия (уничтожение лесов, деградации почвенного покрова), среди многочисленных экологических функций важное значение имеет углерододепонирующая функция лесных экосистем, благодаря которой происходит стабилизация газового состава атмосферы. При оценке углерододепонирующей функции лесных насаждений необходимо учитывать эмиссию CO_2 в атмосферу за счет почвенного дыхания, которое может изменяться в широких пределах.

Продуктивность лесов в значительной мере обуславливается углекислым газом, выделяющимся из почвы. Почвенная углекислота обеспечивает потребности лесных растений в процессе фотосинтеза. Средняя величина почвенного дыхания составляет 4,5-5,0 т CO_2 на 1 га/год. При увеличении интенсивности почвенного дыхания положительный баланс сохраняется [5]. Чтобы установить содержание углерода в разных компонентах древостоя, определяется запас фитомассы каждого из них. Далее с помощью коэффициентов содержания углерода в абсолютно сухом веществе фитомассы рассчитывается его масса в каждом компоненте древостоя. Далее полученные данные суммируются. Учитывается углерод в массе детрита (мертвая древесина), подросте, подлеске, травяном покрове. Основная доля углерода содержится в древостое – 88 %, в листьях и хвое – 5 %, в сухостое и валеже – 6 %, в остальных компонентах всего 1 %. Из выше сказанного, видим, что запас определяется через общий запас фитомассы древесной, кустарниковой и травянистой растительности на территории лесного фонда и удельное содержание углерода в фитомассе.

2. Материалы и методы

Исходными данными для количественной оценки кислородопродуцирующей и углерододепонирующей функции, аккумулярованной в первичной продукции лесных экосистем, являются элементы биологической продуктивности, выраженные в весовых единицах абсолютно сухого вещества [1,4]. Таксационная характеристика искусственных лесных насаждений части Северного Кавказа представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Таксационная характеристика культур

№ ППП	№ квартала	№ выдела	Состав насаждения	Возраст, лет	Бонитет	Полнота	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Средний прирост, м ³ /год
Кубанское лесничество, Пригородное участковое лесничество								
1	8	4	4Дч4Яо1Аб1А	57	III	0,7	252	4,4
			Дч				152	2,6
			Яо				80	1,4
			Аб				10	0,2
			А				10	0,2
2	7	18	4Дч4Яо2Аб	57	III	0,7	264	4,6
			Дч				148	2,6
			Яо				68	1,2
			Аб				48	0,8
3	9	4	8Яо2Яз	62	II	0,7	226	3,6
			Яо				180	2,9
			Яз				46	0,7
4	13	1	10Яо	61	I	0,7	170	2,8
Кубанское лесничество, Дзегутинское участковое лесничество								
5	16	32	8Клб2Яо	63	II	0,9	160	2,5
			Клб				128	2
			Яо				32	0,5
6	9	18	10Яо	48	I	0,9	157	3,3
7	18	5	10Яо	59	I	0,9	299	5,1
Кубанское лесничество, Холодно-Родниковское участковое лесничество								
8	8	67	6Дч2Яо2Аб	62	II	0,6	100	1,6
			Дч				60	1
			Яо				20	0,3
			Аб				20	0,3
9	8	82	7Орг2Яо1Аб	62	II	0,6	306	4,9
			Яо				214	3,5
			Орг				61	0,9
			Аб				31	0,5
10	1	1	9Вп1Яо	52	IV	0,7	58	1,1
			Вп				52	1
			Яо				5	0,1
11	1	25	8Яо2Вп	62	II	0,7	144	2,3
			Яо				115	1,9
			Вп				28	0,4
12	3	1	5Клб1Вп2Орг2Гл	62	II	0,8	236	3,8
			Клб				118	1,8
			Орг				47	0,8
			Вп				24	0,4
			Гл				47	0,8
13	8	1	7Орг2Дч1Тч	63	II	0,6	100	1,6
			Орг				70	1,1
			Дч				20	0,3
			Тч				10	0,2

Результаты и обсуждение

Энергия роста древостоев объективно отражается величиной их среднего прироста по запасу. Так максимальное значение прироста наблюдается в насаждениях ясеня обыкновенного, расположенных в Джегутинском участковом лесничестве, к возрасту 59 лет он составляет 5,1 м³/га в год, а минимальное значение прироста отмечается в культурах вяза приземистого Холодно - Родниковского участкового лесничества, в возрасте 52 лет текущий прирост по запасу - 1,1 м³/га в год. С возрастом наблюдается снижение прироста по запасу, происходит разрушение древостоев, и величина отпада начинает превышать прирост.

По таксационным показателям запаса и среднего прироста в м³/га путем умножения на величину условной плотности древесины в т/м³ вычисляем показатели в единицах веса сухого вещества. Значения условной плотности древесины (т/м³), для каждой из пород она своя. С учетом поправки на массу корневых систем (15 – 20 % от массы древостоя) и массы ветвей и листьев (20 – 25 % от массы древостоя) рассчитываем общую фитомассу и прирост фитомассы древостоя. Динамика фитомассы древостоя пропорциональна среднему приросту его запаса [2]. Возрастные изменения фитомассы древостоев отражаются на динамике их углерододепонирующей и кислородопродуцирующей функций (таблица 2).

Таблица 2 - Количество депонированного углерода, поглощенного углекислого газа и выделенного кислорода фитомассой древостоев

№ ППП	Состав насаждения	Возраст, лет	Фитомасса:		Запас углерода:		Поглощение O ₂ :		Выделение CO ₂ :	
			в наблюдаемом возрасте, т/га	текущего прироста, т/га*год	в наблюдаемом возрасте, т/га	в текущем приросте, т/га*год	в наблюдаемом возрасте, т/га	текущим приростом, т/га*год	в наблюдаемом возрасте, т/га	средний приростом, т/га*год
Кубанское лесничество, Пригородное участковое лесничество										
1	4Дч4Яо1Аб1А									
	Дч	5 7	116,2	2	131,8	2,3	353,2	6,2	476,7	8,4
	Яо		60,3	1,1	69	1,2	184,9	3,2	249,5	4,4
	Аб		9,2	0,2	9,4	0,2	25,1	0,4	34	0,6
	А		7,2	0,1	8,5	0,1	22,7	0,4	30,6	0,5
Всего	192,9		3,4	218,7	3,8	585,9	10,2	790,8	13,9	
2	4Дч4Яо2Аб									
	Дч	5 7	113,1	2	128,3	2,3	344	6	464,2	8,1
	Яо		51,3	0,9	58,6	1	157,2	2,8	212,1	3,7
	Аб		44,1	0,8	45,2	0,8	120,5	2,1	163,4	2,9
Всего	208,5		3,7	232,1	4,1	621,7	10,9	839,7	14,7	
3	8Яо2Яз									
	Яо	6 2	135,7	2,2	155,1	2,5	416	6,7	561,2	9,1
	Яз		33,9	0,5	39,3	0,6	105,4	1,7	142,1	2,3
Всего	169,6		2,7	194,4	3,1	521,4	8,4	703,3	11,4	
4	10Яо	6 1	128,2	2,1	146,5	2,4	392,9	6,4	530	8,7

Кубанское лесничество, Дзегутинское участковое лесничество										
5	8Клб2Яо									
	Клб	6 3	79,6	1,3	102,2	1,6	275,5	4,4	369,6	5,9
	Яо		24	0,4	27,5	0,4	73,9	1,2	99,6	1,6
	Всего		103,6	1,7	129,7	2	349,4	5,6	469,2	7,5
6	10Яо	4 8	118,3	2,5	135,3	2,8	362,8	7,6	489,4	10,2
7	10Яо	5 9	225,2	3,8	257,6	4,4	690,8	11,7	931,9	15,8
Кубанское лесничество, Холодно-Родниковское участковое лесничество										
8	6Дч2Яо2Аб									
	Дч	6 2	45,9	0,7	52	0,8	139,4	2,2	188,2	3
	Яо		15	0,2	17,2	0,3	46,1	0,7	62,2	1
	Аб		18,3	0,3	18,8	0,3	50,2	0,8	68,1	1,1
	Всего		79,2	1,2	88	1,4	235,7	3,7	318,5	5,1
9	7Орг2Яо1Аб									
	Яо	6 2	161,1	2,6	184,4	3	494,3	8	666,8	10,8
	Орг		40,2	0,6	49,8	0,8	134	2,2	180	2,9
	Аб		28,5	0,5	29,2	0,5	77,8	1,3	105,6	1,7
Всего	229,8	3,7	263,4	4,3	706,1	11,5	952,4	15,4		
1 0	9Вп1Яо									
	Вп	5 2	36,8	0,7	43,7	0,8	117,3	2,3	158	3
	Яо		3,8	0,1	4,3	0,1	11,5	0,2	15,6	0,3
Всего	40,6		0,8	48	0,9	128,8	2,5	173,6	3,3	
1 1	8Яо2Вп									
	Яо	6 2	86,6	1,4	99,1	1,6	265,7	4,3	358,4	5,8
	Вп		19,9	0,3	23,5	0,4	63,2	1	85,1	1,4
Всего	106,5		1,7	122,6	2	328,9	5,3	443,5	7,2	
1 2	7Орг2Дч1Тч									
	Орг	6 3	45,9	0,7	57	0,9	153,4	2,4	206,2	3,3
	Дч		15,3	0,2	17,3	0,3	46,5	0,7	62,7	1
	Тч		5	0,1	7,4	0,1	20	0,3	26,7	0,4
Всего	66,2		1	81,7	1,3	219,9	3,4	295,6	4,7	
1 3	5Клб1Вп2Орг2Гл									
	Клб	6 2	73,5	1,2	94,3	1,5	254,1	4,1	340,9	5,5
	Орг		30,9	0,5	38,3	0,6	103	1,7	138,4	2,2
	Вп		17	0,3	20,1	0,3	54	0,9	72,7	1,2
	Гл		37,5	0,6	41,5	0,7	111,2	1,8	150,3	2,4
Всего	158,9		2,6	194,2	3,1	522,3	8,5	702,3	11,3	

Депонирование углерода сопровождается поглощением углекислого газа и выделением кислорода. Максимальное количество углекислого газа во всех участковых лесничествах поглощается фитомассой культур ясеня обыкновенного и дуба черешчатого. В возрасте 59 лет ясень обыкновенный поглощает углекислого газа – 931,9 т/га. К этому же возрасту ясень обыкновенный выделил и максимум кислорода – 690,8 т/га. В культурах дуба черешчатого к возрасту 57 лет максимальное количество поглощенного фитомассой углекислого газа – 476,7 т/га, выделяемого кислорода – 353,2 т/га.

Самое минимальное количество поглощения углекислого газа и выделения кислорода отмечено в культурах вяза приземистого Холодно-Родниковского участкового лесничества и составляет: углекислый газ - 158 т/га; кислород – 117,3 т/га. До 63 лет наблюдаются достаточно высокие показатели величины стока углекислого газа и эмиссию кислорода

Заключение

Полученные результаты исследований позволяют оценить санитарно-гигиеническую функцию зеленых насаждений. Зеленые насаждения поглощая углекислый газ и выделяя кислород, обогащают воздух фитонцидами, которые оказывают непосредственное бактерицидное воздействие на микроорганизмы, что позволяет использовать зеленые насаждения в качестве высокоэффективного средства оздоровления окружающей среды.

Список литературы

1. Замолодчиков, Д.Г. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений. - Лесоведение. – 2000. - № 6. – С. 54 – 63.
2. Кулакова, Е.Н. Эколого-экономическая оценка искусственных лесных насаждений предгорий Карачаево-Черкесской Республики. - Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6, № 4 (24). – С. 13-21.
3. Таранков, В. И. Особенности циклической динамики прироста древесных пород в различных лесорастительных условиях. – ВГЛТА, -Воронеж, 2000. – С. 130 – 134.
4. Факторы окружающей среды в формировании здоровья населения Ивановской области (атмосферный воздух) / Н.В. Яковенко, Д. С. Марков, А.А. Молодцева, Е.П. Туркина //Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 461.
5. Altamirano-Fernández, A.; Rojas-Palma, A.; Espinoza-Meza, S. Optimal Management Strategies to Maximize Carbon Capture in Forest Plantations: A Case Study with *Pinus radiata* D. Don. *Forests* 2023, 14, 82. <https://doi.org/10.3390/f14010082>
6. Song, W.; Zhu, Z.; Yao, W.; Gao, Z.; Chen, R.; Zhao, Y.; Wang, M.; Wang, X.; Li, C.; Liang, M.; Yu, D. Emissions and Absorption of CO₂ in China's Cold Regions. *Processes* 2023, 11, 1336. <https://doi.org/10.3390/pr11051336>.

References

1. Zamolodchikov D.G. The system of conversion relations for calculating the net primary production of forest ecosystems by stocks of plantations. *Forestry*. 2000. No. 6. S. 54 - 63.
2. Kulakova E. N. Ecological-economic assessment of artificial forest plantations in the foothills of the Karachay-Cherkess Republic. *Forestry magazine*. 2016. V. 6. No. 4 (24). P. 13-21.

3. Song W., Zhu Z., Yao W., Gao Z., Chen R., Zhao Y., Wang M., Wang X., L, C.; Liang M., Yu D. Emissions and Absorption of CO₂ in China's Cold Regions. *Processes* **2023**, 11, 1336. <https://doi.org/10.3390/pr11051336>.
4. Environmental factors in the formation of the health of the population of the Ivanovo region (atmospheric air) / N. V. Yakovenko, D. S. Markov, A. A. Molodtseva, E. P. Turkina // *Modern problems of science and education*. - 2013. – No. 5. – p. 461.
5. Altamirano-Fernández, A.; Rojas-Palma, A.; Espinoza-Meza, S. Optimal Management Strategies to Maximize Carbon Capture in Forest Plantations: A Case Study with *Pinus radiata* D. Don. *Forests* 2023, 14, 82. <https://doi.org/10.3390/f14010082>
6. Song, W.; Zhu, Z.; Yao, W.; Gao, Z.; Chen, R.; Zhao, Y.; Wang, M.; Wang, X.; Li, C.; Liang, M.; Yu, D. Emissions and Absorption of CO₂ in China's Cold Regions. *Processes* 2023, 11, 1336. <https://doi.org/10.3390/pr11051336>.

Современное состояние и динамика лесного фонда Московской области

Аннотация. На территории Московской области значительную часть площади занимают земли лесного фонда. Актуальность исследования обусловлена увеличивающимся антропогенным воздействием, а также глобальными климатическими изменениями. Целью работы стало изучение современного состояния и динамики лесного фонда Московской области: тенденций и причин изменения лесистости, породного состава, возрастной структуры и оценка пожарной обстановки. В ходе исследования использована информация из действующего лесного плана Московской области, государственного лесного реестра и Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров. Лесной фонд Подмосковья составляет 8,4% от ЦФО, а лесистость территорий составляет 42,1%. Земли лесного фонда Московской области занимают 1914, 2 тыс. га. Установлено снижение площади покрытой лесной растительностью на 42,4 тыс. га или 2,4 %. Проанализировано распределение лесов по формациям: хвойная занимает 43,8% от лесного фонда области, а мягколиственная и твердолиственная – 54,6% и 1,6 % соответственно. Общая площадь высокобонитетных насаждений составляет 1623,9 тыс. га. В среднем за 20-летний период количество лесных пожаров составляет 276 шт./год, а средняя площадь, пройденная пожарами за последние 20 лет – 21,12 тыс. га в год.

Ключевые слова: лесной фонд; лесопользование; лесистость; лесные пожары; защитные леса; лесовосстановление; Московская область

Lezhnev D.V.
*Research Laboratory Assistant
Institute of Forestry RAS
Russia, Moscow*

Current state and dynamics of the forest fund of the Moscow region

Abstract. In the Moscow region, a significant part of the area is occupied by the lands of the forest fund. The relevance of the study is due to the increasing anthropogenic impact, as well as global climate changes. The purpose of the work was to study the current state and dynamics of the forest fund of the Moscow region: trends and causes of changes in forest cover, species composition, age structure and

assessment of the fire situation. The study used information from the current forest plan of the Moscow region, the state forest register and the Information System for Remote Monitoring of Forest Fires. The forest fund of the Moscow region is 8.4% of the Central Federal District, and the forest cover of the territories is 42,1%. The lands of the forest fund of the Moscow region occupy 1,91 mln ha. A decrease in the area covered by forest vegetation by 42,4 thousand ha or 2.4% was found. The total area of high-priority plantings is 1,62 mln ha. On average, over a 20-year period, the number of forest fires is 276 pcs. /year, and the average area covered by fires over the past 20 years is 21.12 thousand ha per year.

Key words: forest fund; forest management; forest cover; forest fires; protective forests; reforestation; Moscow region

Введение. Московская область относится к Центральному федеральному округу России, зоне с самым высоким уровнем плотности населения и техногенного загрязнения (2, 6). В ходе освоения территории региона структура коренных типов лесов была практически полностью разрушена. Современный лесной фонд состоит из фрагментированных условно-коренных и производных лесов с измененным породным составом (4, 5).

Также значительная часть территории Московской области была передана 1 июня 2012 г. в состав Москвы (Новая Москва). Вследствие данного обстоятельства площадь лесных земель Подмосковья уменьшилась на 71,1 тыс. га, поэтому для наибольшей достоверности данных в рамках этого исследования динамика лесного фонда будет рассматриваться с момента образования современных границ региона, то есть с 2013 года. Дополнительным фактором интенсивного воздействия на леса Подмосковья является Центральная кольцевая автомобильная дорога (ЦКАД). Строительство ЦКАД ожидается приведет к застройке прилегающих зон и к последующей урбанизации Подмосковья.

Вместе с тем в связи с возрастающим антропогенным воздействием и глобальными климатическими изменениями, частота и интенсивность пожаров возрастают по всему миру. Пирогенный фактор становится всё более острой проблемой для лесных регионов, требующей незамедлительных решений, так как происходят катастрофические сокращения площади лесных экосистем (1, 3).

Все вышеизложенное подчеркивает актуальность исследования, направленного на изучение современного состояния и динамики лесного фонда в густонаселенном регионе с развитой инфраструктурой.

Цель исследования – проанализировать современное состояние и динамику лесного фонда Московской области: тенденций и причин изменения лесистости, породного состава, возрастной структуры и оценить количество, площадь пожаров на землях лесного фонда за последние 20 лет.

Материалы и методы. Анализ состояния и динамики лесного фонда Московской области за период 2013–2021 гг. выполнен на основе обработки статистической информации и данных государственного лесного реестра (9). В ходе данного исследования использована информация из действующего лесного

плана Московской области (10), государственного лесного реестра (ГЛР) в части определения количественных и качественных характеристик лесного фонда региона, а также обобщённых данных лесоустройства. Применяли системный подход для выявления взаимодействия состояния и динамики лесного фонда. Сводные данные лесного плана Московской области в свою очередь базируются на данных лесоустройства, ГЛР, лесопатологического мониторинга, дистанционного мониторинга использования лесов и др. Анализ лесного фонда Московской области, пострадавшего в результате лесных пожаров за последние 20 лет (2002–2022 гг.), проводили по сведениям Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ–Рослесхоз).

Литературный обзор. Московская агломерация оказывает значительное влияние на природную среду и все ее компоненты, изменяя климат, рельеф, гидрологический и почвенный режим, растительность и животный мир (14, 16). Возрастающая урбанизация влияет на лесные сообщества и приводит к увеличению спроса на экосистемные услуги (13, 18).

Для Подмосковья лесные биогеоценозы имеют большое значение, так как они улучшают климат, поддерживают газовый баланс атмосферы, защищают ландшафты от разрушения и очищают воздух, а также дают разнообразную продукцию, применяемую в различных сферах деятельности человека, кроме того все леса региона – защитные, которые являются экологическими каркасом столицы и её пригородов (4, 11).

На данном этапе развития лесоводства и экологии научное сообщество пришло к общему выводу, что времена оценки лесных ресурсов только с позиции древесной продукции леса подошли к завершению. Увеличившийся интерес к средообразующим функциям лесов предопределяет многоцелевое использования лесных экосистем, в том числе через расширение зоны интенсивной модели использования лесов. Помимо выше перечисленного леса продуцируют и выделяют биологически активные вещества, повышающие санитарно-гигиеническое состояние лесных экосистем и оказывающие saniрующий эффект на воздух, воду и почву.

Результаты. Лесной фонд Подмосковья составляет 8,4% от ЦФО, а лесистость территорий составляет 42,1%. По данным государственного лесного реестра на 1 января 2021 г. земли лесного фонда Московской области занимают 1914,2 тыс. га, в том числе: хвойная формация 761,3 тыс. га; мягколиственная – 948,6 тыс. га; твердолиственная – 27,6 тыс. га. Распределение площади лесов и запасов древесины по основным лесообразующим породам Московской области показано в таблице 1.

Таблица 1 - Распределение лесообразующих пород по площади и запасу древесины

Лесообразующая порода	Сосна	Ель	Береза	Осина	Ольха	Дуб	Липа	Прочие
Площадь, тыс. га	354,3	404,5	708,9	150,6	75,3	26,6	11,3	6,0
Запас, млн. м ³	85,48	84,92	132,87	37,11	10,68	5,59	3,24	0,62

Лесосырьевые ресурсы Московской области по состоянию на 1 января 2021 г. характеризуются площадью, покрытой лесной растительностью 1737,5 тыс. га и общим запасом 360,51 млн. м³.

Распределение площади лесов и запасов древесины по формациям и возрасту на территории Московской области в таблице 2.

Таблица 2 - Распределение площади лесов и запасов древесины по формациям и группам возраста

Формация \ Группа возраста	Хвойная	Мягколиственная	Твердолиственная	Итого по группам возраста
	площадь, тыс. га запас, куб. м			
Молодняки	219,4	73,7	0,5	293,6
	17,6	2,17	0,03	19,8
Средневозрастные	313,7	362,5	13,9	690,1
	84,32	63,88	2,9	151,1
Приспевающие	132,1	144,1	3,1	279,3
	40,76	30,19	0,67	271,62
Спелые и перестойные	94,1	368,3	10,1	472,5
	28,29	87,57	2,13	177,99
Итого по формации	761,3	948,6	27,6	1737,5
	170,97	183,81	5,73	360,51

Проанализировав распределение лесов по формациям стоит отметить, что хвойная формация по площади занимает 43,8% от лесного фонда региона, а мягколиственная и твердолиственная – 54,6% и 1,6 % соответственно.

Распределение площади насаждений по формациям и классам бонитета на территории Московской области в таблице 3.

Таблица 3 - Распределение площади насаждений по формациям и классам бонитета

Формация Класс бонитета	Хвойная	Мягколиственная	Твердолиственная	Итого по классу бонитета
	площадь, тыс. га			
II и выше	731,8	871,9	20,2	1623,9
III	20,1	64,1	7,4	91,6
IV	5,7	9,4	0,0	15,1
V	2,3	2,9	0,0	5,2
V _A – V _B	1,4	0,3	0,0	1,7
Итого по формации	761,3	948,6	27,6	1737,5

Продуктивность лесного фонда Московской области остается на высоком уровне, общая площадь высокобонитетных (II и выше) насаждений составляет 1623,9 тыс. га (93,4%). Наличие непродуктивных (V_A–V_B) насаждений 1,7 тыс. га.

Проанализировано количество лесных пожаров и площадь, пройденную огнем на территории Подмосковья в период 2002–2022 гг. (рис. 1).

По данным из диаграммы стоит отметить, три пика горимости (2006, 2009 и 2018). В среднем за 20-летний период количество лесных пожаров составляет 276 шт./год.

Обсуждение. Лесистость территорий составляет 42,1% и снизилась на 0,8% в период 2013–2021 гг., что обусловлено техногенным развитием региона (строительство ЦКАД, ЛЭП и иных инфраструктурных объектов), а также урбанизацией.

В период 2013–2021 гг. отмечено значительное снижение площади следующих основных лесообразующих пород: ель – 35,3 тыс. га; сосна – 6,4 тыс. га; дуб – 3,2 тыс. га; ольха – 2,0 тыс. га; осина – 1,7 тыс. га. Увеличение площади отмечается только у березы и липы – 7,4 и 0,8 тыс. га. соответственно. Если говорить в целом по Московской области, то площадь покрытая лесной растительностью снизилась на 42,4 тыс. га или 2,4 %. По запасу древесины за исследуемый период отмечено снижение на 16,67 млн. м³.

Отмечено постепенное увеличение доли мягколиственных пород, в первую очередь, за счет увеличения площади березы, а доля хвойной формации снизилась за исследуемых период на 41,7 тыс. га. Таким образом, происходит смена длительно производных лесов (ельников и сосняков) на короткопроизводные (березняки и липняки), что также отмечено в других исследованиях автора (7, 8). Следовательно, снижается устойчивость и продуктивность защитных лесов Подмосковья. Доля высокопродуктивных насаждений (класс бонитета II и выше) в хвойной формации увеличилась на 5,7 % от общего и составляет 96,1%, что также подчеркивает высокую

продуктивность и, как следствие, устойчивость данной формации в сравнении с мягколиственной.

Возрастная структура лесного фонда Московской области изменилась существенно: молодняки увеличились на 9,7 тыс. га; средневозрастные снизились на 90,5 тыс. га; приспевающие снизились на 36,9 тыс. га; спелые и перестойные увеличились на 75,3 тыс. га.

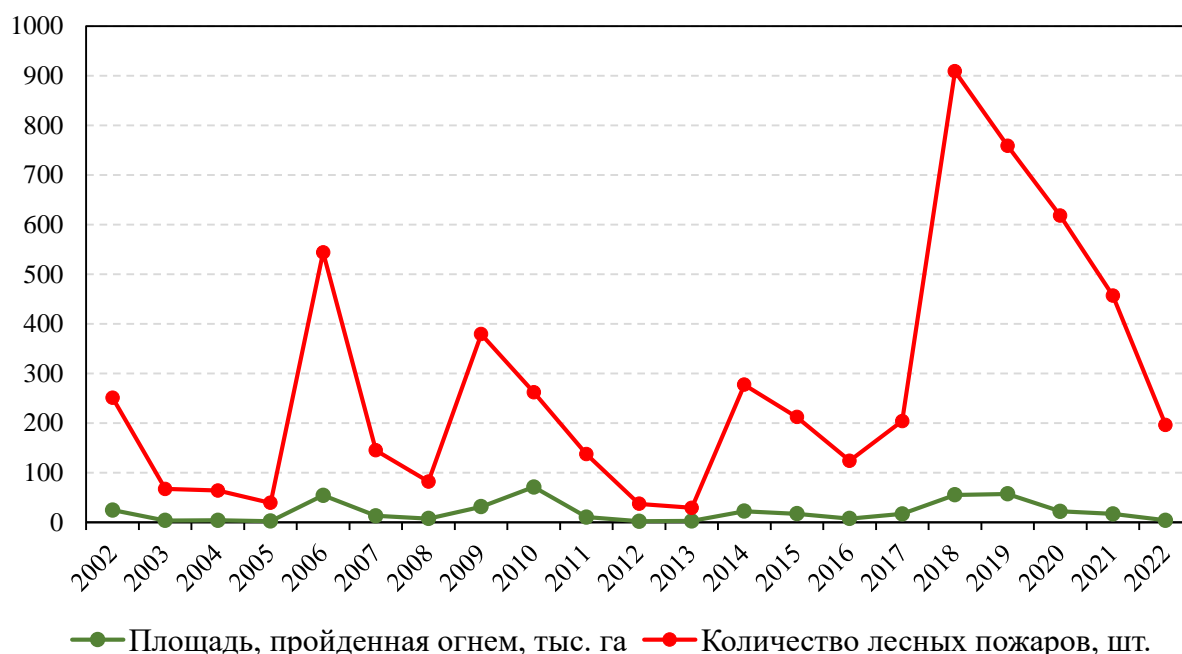


Рисунок 1. Количество и площадь пожаров, возникших в лесном фонде Московской области за 2002–2022 гг/

Значительный рост группы спелых и перестойных древостоев связан, по мнению автора, с запретом на рубку спелых и перестойных в защитных лесах, следовательно, данная древесина разрушается путем естественного распада или под воздействием различных вредителей. Прослеживается тенденция по увеличению среднего возраста насаждений в лесном фонде Московской области, за счет дисбаланса возрастной структуры.

Количество пожаров за рассматриваемый период в Московской области составляет 12 % от ЦФО. По площади пройденной огнем за последние 20 лет выделяются 2006, 2010, 2018 и 2019 гг. В среднем за рассматриваемый период по Московской области лесопокрываемая площадь, пройденная пожарами, составила 21,12 тыс. га в год. Средняя площадь одного пожара за 20-летний период в регионе составила 78,1 га, что ниже среднего по Центральному федеральному округу на 32% (115,5 га).

Заключение

– Лесистость Московской области снизилась на 0,8% в период 2013–2021 гг., при этом общая площадь, покрытая лесом, составляет 1737,5 тыс. га и запасом 360,51 млн. м³;

– Установлено увеличение доли мягколиственных пород, в первую очередь, за счет увеличения площади березы, а доля хвойной формации снизилась за исследуемый период на 41,7 тыс. га;

– Отмечено значительное снижение площади основных лесообразующих пород: ель – 35,3 тыс. га; сосна – 6,4 тыс. га; дуб – 3,2 тыс. га; ольха – 2,0 тыс. га; осина – 1,7 тыс. га;

– Наблюдается тенденция по увеличению среднего возраста насаждений в лесном фонде региона;

– Средняя площадь, пройденная пожарами за последние 20 лет в Московской области, составляет 21,12 тыс. га в год.

Список литературы

1. Гераськина, А.П. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем / А. П. Гераськина, Д. Н. Тебенкова, Д. В. Ершов [и др.] // Вопросы лесной науки. – 2021. – Т. 4, № 2. – DOI 10.31509/2658-607x-202142-11.
2. Гостева, С. Р. Экологическая безопасность России и устойчивое развитие / С. Р. Гостева // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16. – № 3. – С. 704–718.
3. Ермоленко, А. А. Анализ состояния и причин изменения лесистости в Центральном федеральном округе: сложившаяся практика и возможные решения / А. А. Ермоленко // Лесохозяйственная информация. – 2018. – № 4. – С. 55-65. – DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2018.4.06.
4. Коротков, С. А. Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины / С. А. Коротков. – Москва: АНО "ДОБЛЕСТЬ ЭПОХ", 2023. – 168 с. – ISBN 978-5-6041265-2-3.
5. Коротков, С.А. Влияние экологических и социально-экономических факторов на формирование лесов Подмоскovie / С. А. Коротков, Л. В. Стоноженко, В. В. Киселева, Ю. Б. Глазунов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2020. – Т. 31, № 1-2. – С. 90-115. – DOI 10.21513/0207-2564-2020-1-90-115.
6. Кузнецова, Н. Ф. Состояние лесов и динамика их породного состава в Центральном федеральном округе [Электронный ресурс] / Н. Ф. Кузнецова, М. Ю. Сауткина // Лесхоз. информ.: электрон. сетевой журн. – 2019. – № 2. – С. 25–45.
7. Лежнев, Д. В. Динамика сосновых лесов в Серебряноборском участковом лесничестве Московской области / Д. В. Лежнев, Д. Дубей, Ю. Б. Глазунов, С. А. Коротков // Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии: Сборник докладов, электронное издание, Благовещенск, 04–07 октября 2022 года. – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2022. – С. 217-219.
8. Лежнев, Д. В. Динамика сосняков сложных в условиях ближнего Подмоскovie / Д. В. Лежнев, Ю. Б. Глазунов, С. А. Коротков, Г. А. Андреев // Организмы, популяции и сообщества в трансформирующейся среде: Сборник материалов XVII Международной научной экологической конференции, Белгород, 22–24 ноября 2022 года / Под редакцией Ю.А. Присного. –

- Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2022. – С. 102-105.
9. Лесной реестр 2013. Статистический сборник. М. – 2014. – 690 с.
 10. Постановление Губернатора Московской области от 21.03.2019 № 116-ПП "Об утверждении Лесного плана Московской области на 2019-2028 годы". Адрес URL: <https://klh.mosreg.ru/dokumenty> (дата обращения 15.03. 2023).
 11. Рысин Л.П. Леса Подмосковья. М: Товарищество научных изданий КМК.2012.256 с.
 12. Стоноженко, Л. В. Динамика лесных ресурсов и лесопользования Московской области / Л. В. Стоноженко, С. А. Коротков, О. А. Теплов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. – 2017. – № 3. – С. 94-105.
 13. Abad-Segura E. et al. Remote sensing applied in forest management to optimize ecosystem services: advances in research //Forests. – 2020. – Т. 11. – №. 9. – С. 969.
 14. Han J., Dong Y., Ren Z., Du Y., Wang C., Jia G., Zhang P., Guo Y. Remarkable Effects of Urbanization on Forest Landscape Multifunctionality in Urban Peripheries: Evidence from Liaoyuan City in Northeast China // Forests. – 2021. - № 12. - id 1779. - DOI: 10.3390/f12121779
 15. Kiseleva V. The dynamics of forest species composition in the Eastern Moscow Region / V. Kiseleva, L. Stonozhenko, S. Korotkov // Folia Forestalia Polonica, Series A. – 2020. – Vol. 62, No. 2. – P. 53-67. – DOI 10.2478/ffp-2020-0007.
 16. Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // J. For. Res. - 2022. – DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z
 17. Mansoor S. et al. Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change //Journal of Environmental management. – 2022. – Т. 301. – С. 113769.
 18. Murat A. Silviculture and tree breeding for planted forests //Eurasian Journal of Forest Science. – 2020. – Т. 8. – №. 1. – С. 60-69.

References

1. Geraskina, A.P. Fires as a factor in the loss of biodiversity and functions of forest ecosystems / A. P. Geraskina, D. N. Tebenkova, D. V. Ershov [et al.] // Problems of forest science. – 2021. – Vol. 4, No. 2. – DOI 10.31509/2658-607x-202142-11.
2. Gosteva, S. R. Ecological safety of Russia and sustainable development / S. R. Gosteva // Bulletin of TSTU. - 2010. - Vol. 16. - No. 3. - P. 704–718.
3. Ermolenko, A. A. Analysis of the state and causes of changes in forest cover in the Central Federal District: current practice and possible solutions / A. A. Ermolenko // Forestry information. - 2018. - No. 4. - P. 55-65. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.06.
4. Korotkov, S. A. Change in the composition of forest stands and the stability of protective forests in the central part of the Russian Plain / S. A. Korotkov. - Moscow: ANO "Valor of the Epoch", 2023. - 168 p. – ISBN 978-5-6041265-2-3.

5. Korotkov, S.A. Influence of ecological and socio-economic factors on the formation of forests near Moscow / SA Korotkov, LV Stonozhenko, VV Kiseleva, Yu. B. Glazunov // Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems. - 2020. - Vol. 31, No. 1-2. - P. 90-115. – DOI 10.21513/0207-2564-2020-1-90-115.
6. Kuznetsova, N. F. State of forests and dynamics of their species composition in the Central Federal District [Electronic resource] / N. F. Kuznetsova, M. Yu. Sautkina // Lesokhoz. inform. : electron. network magazine. - 2019. - No. 2. - P. 25–45.
7. Lezhnev, D. V. Dynamics of pine forests in the Serebryanobor district forestry of the Moscow region / D. V. Lezhnev, D. Dubey, Yu. Collection of reports, electronic edition, Blagoveshchensk, October 04–07, 2022. - Blagoveshchensk, 2022. - P. 217-219.
8. Lezhnev, D. V. Dynamics of complex pine forests in the conditions of the near Moscow region / D. V. Lezhnev, Yu. B. Glazunov, S. A. Korotkov, G. A. Andreev // Organisms, populations and communities in a transforming environment: Collection of materials of the XVII International Scientific Ecological Conference, Belgorod, November 22–24, 2022 / Edited by Yu.A. Prisny. - Belgorod: Belgorod State National Research University, 2022. - P. 102-105.
9. Forest state register 2013. Statistical compendium. Moscow. - 2014. - 690 p.
10. Decree of the Governor of the Moscow Region dated March 21, 2019 No. 116 "On Approval of the Forest Plan of the Moscow Region for 2019-2028". URL address: <https://klh.mosreg.ru/dokumenty> (accessed 03.15.2023).
11. Rysin L.P. Forests near Moscow. M: Association of Scientific Publications KMK.– 2012. – 256 p.
12. Stonozhenko, L. V. Dynamics of forest resources and forest management in the Moscow region / L. V. Stonozhenko, S. A. Korotkov, O. A. Teplov // Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring. - 2017. - No. 3. - P. 94-105.
13. Abad-Segura E. et al. Remote sensing applied in forest management to optimize ecosystem services: advances in research //Forests. – 2020. – Vol. 11. – No. 9. – P. 969.
14. Han J., Dong Y., Ren Z., Du Y., Wang C., Jia G., Zhang P., Guo Y. Remarkable Effects of Urbanization on Forest Landscape Multifunctionality in Urban Peripheries: Evidence from Liaoyuan City in Northeast China // Forests. – 2021. – No. 12. - id 1779. - DOI: 10.3390/f12121779
15. Kiseleva V. The dynamics of forest species composition in the Eastern Moscow Region / V. Kiseleva, L. Stonozhenko, S. Korotkov // Folia Forestalia Polonica, Series A. – 2020. – Vol. 62, No. 2. – P. 53-67. – DOI 10.2478/ffp-2020-0007.
16. Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinussylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // J. For. Res. - 2022. – DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z
17. Mansoor S. et al. Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change //Journal of Environmental management. – 2022. – Vol. 301. – P. 113769.
18. Murat A. Silviculture and tree breeding for planted forests //Eurasian Journal of Forest Science. – 2020. – Vol. 8. – No. 1. – P. 60-69.

Матыцина Е.П.¹, Прохорова Н.Л.¹, Говедар З.²

*¹Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

*²Университет Баня-Луки Республики Сербской (Босния и Герцеговина),
Баня-Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина*

Оценка состояния древесных насаждений в ООПТ областного значения «Воронежский центральный парк»

Аннотация. Статья посвящена одной из актуальных тем экологии большого города – санитарное состояние значительных городских лесных массивов. В статье приведены результаты санитарного обследования древостоя, находящегося на территории наибольшей рекреационной нагрузки. Основной целью исследований являлось определение количественного и качественного состояния древесных насаждений по породам, предложены рекомендательные меры для дальнейших оздоровительных мероприятий. Проведена инвентаризация и лесопатологическая оценка состояния древесных насаждений в Воронежском центральном парке (ООПТ областного значения). При проведении исследований использовались стандартные методы экологических исследований, с последующей камеральной обработкой. В приведенных таблицах отражены данные о породном составе, процентное содержание поврежденных деревьев к общему числу. Динамика изменений приведена за трехлетний период. Приведен перечень обнаруженных внешних патологических признаков, а также перечислены основные вредители и болезни.

Ключевые слова: урбанизация, насаждения, повреждения древесных насаждений, парк, патология насаждений, патологические признаки, уход за насаждениями, болезни и вредители лесных насаждений

Assessment of the condition of wood plantings in the protected nature of regional importance “Voronezh Central Park”

Matytsina E.P.¹, Prokhorova N. L.¹, Govedar Z.²

*¹Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh,*

*²University of Banja Luka, b-r of the governor Stepa Stepanovic,
Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina*

Abstract. the article is devoted to one of the current topics in the ecology of a large city - the sanitary condition of large urban forests. The article presents the results of a sanitary inspection of a tree stand located in the territory of the greatest recreational

load. The main goal of the research was to determine the quantitative and qualitative state of tree plantations by species, and recommended measures for further health measures were proposed. An inventory and forest pathological assessment of the condition of tree plantations in the Voronezh Central Park (SPNA of regional significance) was carried out. When conducting research, standard methods of environmental research were used, followed by desk processing. The tables below reflect data on the species composition and the percentage of damaged trees to the total number. The dynamics of changes are given for a three-year period. A list of detected external pathological signs is given, as well as the main pests and diseases.

Key words: urbanization, plantings, damage to tree plantations, park, pathology of plantings, pathological signs, planting care, diseases and pests of forest plantations

В процессе активного развития городской округ город Воронеж все интенсивнее испытывает отрицательное воздействие негативных факторов, трансформирующих городские зеленые зоны. Влияние повышенного содержания в воздушном бассейне твердых частиц, загазованность, акустическое и тепловое загрязнение, повышение общего уровня вибрации, загрязнение водных источников, снижение биомассы и видового состава растительного сообщества, а также ряд других факторов влияет на общее состояние природных систем (1, с. 25).

Для создания благоприятных условий жизни людей [4], оздоровления экологической ситуации [5, 6], повышения эстетической ценности территорий, а также для обеспечения оптимальных условий социальных функций на территории города существуют озелененные участки.

Наличие зеленых зон в городской черте способствует процессам восстановления здоровых функций организма в период пандемий, помогает укреплять и поддерживать иммунитет (4). Одной из самых масштабных рекреационных зон Воронежа является центральный парк – наиболее посещаемое место отдыха тысяч горожан. Парк является многофункциональной озелененной территорией, которая постановлением администрации Воронежской области от 28.05.1998 № 500 объявлена памятником природы областного значения.

Общая площадь парка – 999 404 м², из которой почти 70 тысяч м² занимают строения, сооружения (детские и спортивные площадки), твердое покрытие (дорожки). На остальной территории располагается облесенная территория, склоны, два озера, а также благоустроенная часть парка с разбитыми цветниками и партерными газонами.

Основной проблемой парка является угнетение культивируемых растений (1, с. 37) вследствие постоянных подтоплений и агрессивного воздействия городской среды – со всех сторон парк подпирают расширяющиеся жилые комплексы, кроме того, над парком проходит автомобильная эстакада.

Причем подтопления оказывают наибольшее влияние, что подтверждают мониторинговые исследования, проводимые нами в течении трех лет.

Массовая высадка деревьев в районе центральной аллеи была произведена в послевоенное время.

В настоящее время самыми распространенными древесными породами в парке являются: тополь дрожащий (осина) (лат. *Populus tremula*), тополь черный (лат. *Populus nigra*), вяз мелколистный (лат. *Ulmus parvifolia*), клен остролистный (лат. *Acer platanoides*), липа мелколистная (лат. *Tilia cordata*), дуб черешчатый (лат. *Quercus robur*). Реже встречаются: робиния ложноакациевая (лат. *Robinia pseudoacacia*), каштан конский (лат. *Aesculus hippocastanum*), ель сербская (лат. *Picea omorika*) и другие.

Как известно, роль зеленых насаждений в условиях городской среды огромна. Формирование газового состава атмосферного воздуха находится в прямой зависимости от растительного мира: растения обогащают воздух кислородом, полезными для здоровья человека фитонцидами и легкими ионами, поглощают углекислый газ, смягчают климат (3).

Главными функциями зеленых насаждений в городе являются такие, как санитарно-гигиеническая, рекреационная, структурно-планировочная, декоративно-художественная (1, с. 52).

Воронежский центральный парк – это знаковый объект, в котором проходит множество мероприятий различного уровня, в результате насаждения постоянно подвергаются антропогенному воздействию, и состояние деревьев здесь находится на постоянном контроле, особенно в местах с наибольшей рекреационной нагрузкой (главные и второстепенные аллеи парка, детские и спортивные площадки, развлекательные зоны).

Все работы по уходу за озелененной территорией Воронежского центрального парка осуществляет муниципальное казенное предприятие «ЭкоЦентр», в том числе: санитарная и формовочная обрезка деревьев, удаление сухостойных и аварийно-опасных деревьев. Работы производятся с письменного разрешения Департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области. Кроме того, управление экологии городского округа город Воронеж, совместно с МКП «ЭкоЦентр» осуществляет ежегодную посадку крупногабаритных саженцев деревьев с закрытой корневой системой на территории Воронежского центрального парка, за которыми ведется уход в виде полива, прополки и рыхления приствольных лунок, подкормки удобрениями, и, при необходимости, формовочной обрезки.

Так, за период с 2020 года (3 года) на территории центрального парка было высажено 74 саженца деревьев (дубы, клены, рябины, ели), около 1000 штук кустарников, удалено в связи с аварийностью около 200 деревьев.

Методы. В ходе исследовательских работ был проведен локальный мониторинг древесных насаждений парка в зоне наибольшей рекреационной нагрузки, с применением одного из самых распространенных методов

диагностики состояния деревьев – визуального, а также использовали количественный метод для обработки полученных результатов.

С помощью визуального метода произведена оценка жизнеспособности деревьев путем визуального выявления внешних признаков проявления патологии различного вида, что позволяет в дальнейшем определить фатальность повреждений и установить категорию состояния деревьев (1, с. 92).

Результаты. В результате проведенных исследований было определено общее количество деревьев, произрастающих в местах с наибольшей рекреационной нагрузкой.

Из общей массы выделен древостой с различными видами повреждений и патологий: механические повреждения, нанесенные в ходе реконструкции парка, сухобочины, дупла, бактериальная водянка, усыхание скелетных ветвей, наличие плодовых тел трутовиков, энтомологические повреждения кроны (листовертка, минирующая моль, ясеневая златка).

Кроме этого, необходимо отметить, что в последние годы в ЦФО активно распространяется ясеневая изумрудная узкотелая златка (лат. *Agrilus planipennis*), которая привела к повреждению и усыханию практически всех ясеневых насаждений в регионе. И центральный парк не является исключением.

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1- Состав насаждений и виды повреждений древесных насаждений Воронежского центрального парка

№ п/п	Наименование породы	2020			2023		
		Общее кол-во ДН	Кол-во повреж д. ДН	% повреж д. ДН	Общее кол-во ДН	Кол-во повреж д. ДН	% повреж д. ДН
1	Клен остролистный	187	167	89	203	163	80
2	Липа мелколистная	155	98	63	169	79	47
3	Тополь дрожащий	148	108	73	136	96	71
4	Ясень обыкновенный	118	118	100	2	2	100
5	Вяз мелколистный	115	77	67	113	75	66
6	Береза повислая	100	99	99	93	92	99
7	Ива плакучая	89	89	100	59	59	100
8	Дуб черешчатый	104	104	100	124	96	77
9	Ель сербская	39	7	18	39	3	8
10	Лещина обыкновенная	18	15	83	18	15	83
11	Тополь черный	17	12	71	16	11	69
12	Боярышник	20	20	100	20	20	100
13	Робиния ложноакациевая	10	7	70	7	4	57
14	Груша	9	7	78	8	6	75
15	Яблоня	7	4	57	7	4	57
16	Каштан конский	6	6	100	6	6	100
17	Рябина обыкновенная	-	-	-	2	0	0
Итого:		1142	938	82	1022	731	71

* ДН – древесные насаждения

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что состояние древостоя в Воронежском центральном парке улучшается. За последние три года средний процент деревьев с повреждениями уменьшился на 11% благодаря правильному решению по управлению лесными городскими системами. Осуществляется отлаженный процесс ухода, при котором активно вырубаются аварийно-опасные деревья и высаживаются новые саженцы, за которыми ведется постоянный контроль.

Выводы. В связи тем, что в настоящий момент на исследуемой территории активно распространяется голландская болезнь вяза, определены другие инфекционные заболевания (мучнистая роса, минирующая моль, ясеневая узкотелая златка), мы рекомендуем при дальнейшем планировании посадки древесных насаждений использовать посадочный материал других древесных видов, которые в наименьшей степени подвергаются вышеописанным заболеваниям.

В качестве рекомендуемых пород предлагаем высаживать следующие виды: клен остролистный (лат. *Acer platanoides*), катальпа бигнониевидная (лат. *Catalpa bignonioides*), рябина промежуточная (лат. *Strobilus intermedia*). Высокой декоративностью отличается скумпия (лат. *Cotinus*). Это позволит увеличить приживаемость саженцев, умножить видовой состав насаждений. В результате обновится и породный состав и улучшится общее санитарное состояние насаждений парка.

Список литературы

1. Царалунга, В.В. Урбоэкология и мониторинг. Урбоэкология и мониторинг среды: учебное пособие / В.В. Царалунга, А.В. Царалунга, Н.Л. Прохорова; Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2018. – 123 с.
2. Царалунга, В.В. Лесопатологическое состояние древостоя географического парка ботанического сада им. Проф. Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета / В. В. Царалунга, Н. Л. Прохорова, А. А. Воронин // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 1(25). – С. 33-41.
3. Чомаева, М. Н. Роль зеленых насаждений для городской среды / М. Н. Чомаева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 4-3(43). – С. 12-14. – DOI 10.24411/2500-1000-2020-10387.
4. Яковенко Н. В. Геоэкологический подход к сохранению и использованию водных ресурсов вододефицитных регионов / Н.В. Яковенко, И.Н. Алферов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1687.
5. Яковенко Н. В. Модель устойчивого развития и социально-экономический мониторинг города / Н. В. Яковенко // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 3. – С. 118-126.
6. Факторы окружающей среды в формировании здоровья населения Ивановской области (атмосферный воздух) / Н. В. Яковенко, Д. С. Марков,

А.А. Молодцева, Е.П. Туркина //Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 461.

7. The health role of forests in the time of post-COVID recovery / Z. Govedar, N. Pržulj, R. Grujić, N. L. Prokhorova // SANUS 2023: BOOK OF ABSTRACTS of Scientific Conference, Prijedor, 23–24 июня 2023 года / Editors: Prof. dr Radoslav Grujić; Dr Milka Stijepić, College professor. – Prijedor: Grafički atelje Grafit, 2023. – P. 126.

References

1. Tsaralunga, V.V. Urban ecology and monitoring. Urban ecology and environmental monitoring: textbook /V.V. Tsaralunga, A.V. Tsaralunga, N.L. Prokhorova; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "VSLTU". – Voronezh, 2018. – 123 p.
2. Tsaralunga, V.V. Forest pathological state of the tree stand of the geographical park of the botanical garden named after. Prof. B.M. Kozo-Polyansky Voronezh State University / V.V. Tsaralunga, N.L. Prokhorova, A.A. Voronin // Forestry Journal. – 2017. – Т. 7, No. 1(25). – P. 33-41.
3. Chomaeva, M. N. The role of green spaces for the urban environment / M. N. Chomaeva // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2020. – No. 4-3(43). – pp. 12-14. – DOI 10.24411/2500-1000-2020-10387.
4. Yakovenko, N. V. Geocological approach to the conservation and use of water resources in water-deficient regions / N. V. Yakovenko, I. N. Alferov // Modern problems of science and education. - 2014. – No. 6. – p. 1687.
5. Yakovenko, N. V. Model of sustainable development and socio-economic monitoring of the city / N. V. Yakovenko // Problems of regional ecology. - 2010. – No. 3. – pp. 118-126.
6. Environmental factors in the formation of the health of the population of the Ivanovo region (atmospheric air) / N. V. Yakovenko, D. S. Markov, A. A. Molodtseva, E. P. Turkina // Modern problems of science and education. – 2013. – No. 5. – p. 461. – EDN RRJWQN.
7. The health role of forests in the time of post-COVID recovery / Z. Govedar, N. Pržulj, R. Grujić, N. L. Prokhorova // SANUS 2023: BOOK OF ABSTRACTS of Scientific Conference, Prijedor, 23–24 июня 2023 года / Editors: Prof. dr Radoslav Grujić; Dr Milka Stijepić, College professor. – Prijedor: Grafički atelje Grafit, 2023. – P. 126.

Лесомелиоративные системы в бассейне Среднего Дона

Аннотация. Системы защитных насаждений преобразуют агротерритории лесостепи Европейской части России. Они создавались в различное время с использованием разнообразного ассортимента древесных пород и кустарников. При площади искусственных линейных насаждений в Центрально-Чернозёмном регионе 600 тысяч гектаров значительно уменьшены негативные природные явления и эрозионные процессы в ландшафтах. Лесоводственно-мелиоративные свойства таких насаждений предопределяются агротехническими и лесокультурными приёмами создания. В лесных полосах с участием быстрорастущих пород наибольшие биометрические показатели роста отмечаются при размещении пород 2,5 – 3,0 x 1,0 м. В средневозрастных насаждениях формируется выпуклый поперечный профиль, где высота средних рядов выше на 12,1 – 17,2%, чем в крайних. Среднегодовой прирост до 30 лет составляет 0,73 – 0,83 м/год при снижении его активности с возраста 15 -24 лет. Формирование насаждений на пашне оптимальных параметров и структур позволит иметь биологические сооружения длительного использования с нарастающим мелиоративным эффектом.

Ключевые слова: защитное лесоразведение, лесоаграрный ландшафт, рост, сохранность пород.

Forest reclamation systems in the Middle Don basin

Abstract. Protective planting systems are transforming the forest-steppe agroterritories of the European part of Russia. They were created at different times using a diverse range of tree species and shrubs. With an area of artificial linear plantings in the Central Black Earth region of 600 thousand hectares, negative natural phenomena and erosion processes in landscapes have been significantly reduced. The silvicultural and reclamation properties of such plantings are predetermined by agrotechnical and silvicultural methods of creation. In forest belts with the participation of fast-growing species, the highest biometric growth indicators are observed when placing species 2.5 - 3.0 x 1.0 m. In middle-aged plantings, a convex transverse profile

is formed, where the height of the middle rows is 12.1 - 17.2% higher than in the extreme ones. The average annual growth up to 30 years is 0.73 - 0.83 m/year, with a decrease in its activity from the age of 15 -24 years. The formation of plantings on arable land with optimal parameters and structures will make it possible to have biological structures for long-term use with an increasing reclamation effect.

Keywords: protective afforestation, forest-agrarian landscape, growth, preservation of species.

Введение. Лесоаграрные ландшафты Среднего Дона подвержены неблагоприятным природным явлениям и эрозионным процессам [6,7,8,9]. Искусственные линейные насаждения формируются по принципам модели ноосферного типа с учётом эколого-ландшафтного земледелия [1,2, 4, 10,11]. В условиях Центрально-Чернозёмного региона площадь сохранившихся лесомелиоративных насаждений составляет около 600 тыс. га [6,7].

Целью нашего исследования является научное обоснование параметров формирования систем защитных насаждений из быстрорастущих пород с учётом их роста, состояния, мелиоративных функций. Это позволит иметь на пашне высокоэффективные насаждения в лесоводственно-мелиоративном и экологическом плане.

1. Объекты, методика

Объектами изучения являются системы защитных лесных насаждений в лесоаграрных ландшафтах в условиях бассейна Среднего Дона. Исследования лесомелиоративных объектов проводились по общепринятым методикам, полностью описанными в [3,5]. Для изучения роста, сохранности древесных пород и лесоводственно-мелиоративной оценки искусственных линейных насаждений закладывались пробные площади [5].

2. Результаты и их обсуждение

Защитные насаждения имеют биометрические параметры в зависимости от лесокультурных и агротехнических приёмов выращивания (табл. 1).

Таблица 1 – Биометрическая характеристика защитных насаждений

№ насаждения	Схема смешения пород	Размещение посадочных мест, м	Порода	Густота посадки, шт/га	Сохранность, %	Возраст, лет	Нср., м	Бонитет
59	Бп-Тб-Тб-Бп	3,0x1,0	Тб Бп	1334 2000	43,0 35,1	32	20,6 16,8	Ia I
68	Тбз-Тбз-Тбз	2,5x1,0	Тбз	4000	28,3	44	21,4	Ia
72	Тбз-Тбз-Тбз-Тбз	3,0x1,0	Тбз	3333	30,0	44	22,8	Ia
53	Бп-Тбз-Тбз-Бп	2,5x1,0	Бп Тбз	2400 1600	25,4 38,1	32	17,8 19,3	Ia Ia

В возрасте 44 лет в насаждениях из тополя бальзамического (Тбз - *Populus balsamifera* L.) проявляются закономерности, где при увеличении площади

питания повышается сохранность и таксационные показатели породы (1,7-6,54 %) (насаждения 68 и 72).

В системе лесных полос при произрастании тополя бальзамического с берёзой повислой (Бп - *Bétula péndula* Roth.) в 32 года формируется продуваемая структура, где тополь имеет выше сохранность на 12,7%, чем берёзы. Аналогичные результаты имеют место и при произрастании тополя белого (Тбз - *Populus alba* L.) и берёзы повислой (насаждения 53 и 59).

При этом лесная полоса, состоящая из тополя и берёзой с размещением 3,0 x 1,0 м в возрасте 32 года представлена продуваемой структурой, где сохранность тополя выше на 4,9 % по сравнению с лесной полосой из тополя и берёзы, где размещение составляет 2,5 x 1,0 м, что свидетельствует о необходимости увеличения ширины междурядий.

В защитных насаждениях древесные породы по-разному произрастают в зависимости от расположения в поперечном профиле (табл. 2).

Таблица 2 - Характеристика роста древесных пород в разных рядах лесных полос

№ насаждения	Возраст, лет	Порода	Крайние ряды		Средние ряды		ΔН,%	ΔD,%
			Нср, м	Дср, см	Нср, м	Дср, см		
			131	35	Бп	21,4±0,21		
156	40	Тбз	23,8±0,27	36,3±0,18	26,6±0,17	30,7±0,21	12,1	15,3
143	44	Бп	22,5±0,19	29,8±0,19	25,7±0,19	26,4±0,20	12,8	11,5

На чернозёмах, тёмно-серых лесных почвах в возрасте 35 – 44 лет в насаждениях из берёзы повислой, тополя бальзамического отмечаются преимущества в росте по высоте центральных рядов над опушечными (ΔН) на 12,1 – 17,2 % и отставание в среднем диаметре (ΔD) на 5,8 – 15,3 %. Наибольшие различия по высоте отмечаются у берёзовых насаждений, по диаметру у тополёвых лесных полос (насаждения 131, 143 и 156).

В различных почвенных условиях древесные породы имеют разные биометрические показатели роста (табл. 3).

Таблица 3 – Ход роста по высоте древесных пород в лесных полосах, м

Возраст, лет	Почвенные условия			
	Чернозём типичный		Чернозём выщелоченный	
	Тополь бальзамический	Берёза повислая	Тополь бальзамический	Берёза повислая
4	4,3	3,6	3,9	3,2
6	5,0	4,6	4,5	3,8
8	6,7	6,1	5,2	4,8
10	8,5	7,2	6,6	6,0
12	10,4	9,2	9,8	8,2
14	13,2	11,3	12,8	10,0
16	15,1	13,6	14,3	11,6
18	17,1	15,0	15,3	14,5

20	19,2	18,4	16,8	15,8
22	21,3	20,3	18,0	16,5
24	22,8	21,6	19,3	17,4
26	23,4	22,3	20,8	19,4
28	24,5	22,8	21,7	20,2
30	26,8	24,3	23,5	22,0

В лесных полосах быстрорастущие породы имеют различия по высоте в зависимости от почвенных условий. На более благоприятных почвах (чернозём типичный) биометрические показатели роста по высоте у тополя бальзамического и берёзы повислой выше по сравнению с значениями на чернозёме выщелоченном. Общий средний прирост по высоте к возрасту 30 лет у тополя бальзамического равен 0,78 - 0,89 м/год, берёзы повислой соответственно - 0,73 - 0,81 м/год. В возрасте 15 -24 лет отмечается снижение в энергии роста в высоту, что следует учитывать при мелиоративной оценки насаждений.

Заключение

В условиях лесоаграрных ландшафтов Среднего Дона полученная научная новизна и научная оригинальность заключается в том, что лучшие показатели сохранности, биометрических показателей отмечается в насаждениях с меньшей густотой посадки из быстрорастущих пород (тополь бальзамический и берёза повислая), которые произрастают по Ia и I классу бонитета. При размещении посадочных мест 2,5 - 3,0 x 1,0 м в возрасте 32-44 лет сохранность пород в лесополосах составляет 25,4 - 43,0 %.

В насаждениях из тополя и берёзы на чернозёмах в возрасте 35-44 лет опушечные ряды имеют больше диаметр на 5,8-15,3 %, чем средние. Причём, средняя высота центральных рядов выше на 12,1 -17,2 %, чем крайних.

Динамика роста тополя и берёзы на чернозёме типичном и выщелоченном показывает, что к возрасту 30 лет породы имеют высоту 22,0-26,8 м. Их средний прирост составляет 0,73-0,89 м/год, энергия роста имеет тенденцию к снижению с возраста 15-24 лет. Лучшие показатели отмечаются на чернозёме типичном в сравнении с другими почвенными условиями.

Список литературы

1. Агроресомелиорация в XX веке : монография / А. Н. Каштанов [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. – 366 с.
2. Агроэкологическая роль лесных полос в преобразовании ландшафтов (на примере Каменной Степи) : монография / В. И. Турусов, А. С. Чеканышкин, В. В. Тищенко, С. И. Годунов, И. В. Ялманов. – Каменная Степь, 2012. - 191 с.
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. - 4-е изд, перераб. и доп. - М.: Колос. 1979. – 416 с.

4. Кретинин, В. М. Агроресомелиорация почв / В. М. Кретинин. – Волгоград: ВИАЛМИ, 2009. - 198 с.
5. Методические основы оценки лесогидромелиоративных систем : учеб. пособие / В. К. Попов [и др.] ; Фед. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования, Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж, 2005. - 79 с.
6. Михин, В. И. Формирование защитных лесных насаждений в Центральном Черноземье России / В. И. Михин, Е. А. Михина, В. В. Михина // Успехи современного естествознания. - 2018. - № 12-1. - С. 87-91.
7. Михина, Е.А. Повышение полезности насаждениями продуктивности искусственных фитоценозов в условиях центральной лесостепи России / Е.А. Михина, В.И. Михин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. -Воронеж, 2020. Т.8 № 1 (48). -С. 109 - 113.
8. Петров, Н. Г. Зерновые культуры под защитой лесных полос / Н. Г. Петров. - М.: Россельхозиздат, 1985. - 70 с.
9. Петров, Н. Г. Лесоаграрные ландшафты и урожай / Н. Г. Петров, П. Г. Петров, В. Д. Тунякин // Каменная Степь – лесоаграрные ландшафты. – Воронеж: ВГУ, 1992. – С. 115-122.
10. Энциклопедия агроресомелиорации / сост. и глав. ред. Е. С. Павловский. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. - С. 195-199.
11. Santos, P.Z.F. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest / P.Z.F. Santos, R Crouzeilles, J.B.B. Sansevero // Forest Ecology and Management. -2019, V. 433, pp. 140-145.

References

1. Agroforestry in the twentieth century : monograph / A. N. Kashtanov [et al.]. – Volgograd: VNIALMI, 2001. – 366 p.
2. Agroecological role of forest strips in the transformation of landscapes (on the example of the Stone Steppe) : monograph / V. I. Turusov, A. S. Chekanyshkin, V. V. Tishenko, S. I. Godunov, I. V. Yalmanov. – Kamennaya Steppe, 2012. - 191 p.
3. Dospeev, B. A. Methodology of field experience: (taking into account statistical processing of research results) / B. A. Dospeev. - 4th ed., reprint. and additional - М.: Kolos. 1979. – 416 p.
4. Cretinin, V. M. Agroforestry of soils / V. M. Cretinin. – Volgograd: VIALMI, 2009. - 198 p
5. Methodological foundations of forest hydro-reclamation systems assessment : textbook / V. K. Popov [et al.] ; Federal Agency for Education, State Educational Institution. institution of higher Prof. education, Voronezh. state Forestry Engineering. acad. - Voronezh, 2005. - 79 p.
6. Mikhin, V. I. Formation of protective forest plantations in the Central Chernozem region of Russia / V. I. Mikhin, E. A. Mikhina, V. V. Mikhina// Successes of modern natural science. - 2018. - No. 12-1. - pp. 87-91.

7. Mikhina, E.A. Increasing the productivity of artificial phytocenoses by protective plantings in the conditions of the central forest-steppe of Russia / E.A. Mikhina, V.I. Mikhin // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. -Voronezh, 2020. Vol.8 No. 1 (48). -pp. 109 - 113.
8. Petrov, N. G. Grain crops under the protection of forest strips / N. G. Petrov. - M.: Rosselkhoznadzor, 1985. - 70 p
9. Petrov, N. G. Lesoagrery landscapes and harvest / N. G. Petrov, P. G. Petrov, V. D. Tunyakin // Kamennaya Steppe – lesoagrery landscapes. – Voronezh: VSU, 1992. – pp. 115-122.
10. Encyclopedia of agroforestry / comp. and chap. ed. E. S. Pavlovsky. – Volgograd: VNIALMI, 2004. - pp. 195-199.
11. Santos, P.Z.F. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest / P.Z.F. Santos, R Crouzeilles, J.B.B. Sansevero // Forest Ecology and Management. -2019, V. 433, pp. 140-145.

Михина В.В., Харченко Н.Н.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Особенности формирования искусственных защитных линейных насаждений с использованием разнообразного ассортимента древесных пород

Аннотация. Искусственные линейные насаждения в условиях ЦЧР занимают площадь около 600 тыс. га. Совместное произрастание берёзы повислой и тополя бальзамического в возрасте 45 лет с размещением 2,5 x 0,75 м показываем, что тополь превосходит березу в росте по биометрическим показателям в 1,02 - 1,21 раза. Лесоводственно-мелиоративная оценка защитных насаждений – 4а и в них формируется продуваемая конструкция. Для обустройства агротерриторий, для улучшения роста и состояния берёзы повислой в лесополосах необходимо её использование отдельно при создании чистых насаждений. Совместное выращивание берёзы повислой и акации белой в лесополосах в возрасте 45 лет при размещении 3,0 x 0,75 м показывает, что главная порода превосходит в росте акацию по биометрическим показателям в 1,1 - 2,6 раза. Самосев акации белой приводит к формированию ажурной конструкции, что следует учитывать при создании лесомелиоративных комплексов. При выращивании в лесополосах тополя бальзамического и акации белой в возрасте 50 лет при размещении 3,0 x 1,0 м формируется ажурная конструкция и тополь по биометрическим показателям превышает акацию белую в 1,4 - 2,6 раза. По сохранности акация превышает тополь в 1,6 раза. Для обустройства агротерриторий необходимо учитывать эколого-биологические особенности пород, почвенные условия и особенности формирования структур вертикального профиля древостоя.

Ключевые слова: защитные насаждения, древесные породы, рост, биометрические показатели.

Mikhina V.V., Kharchenko N.N.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Features of the formation of artificial protective linear plantings using a diverse range of tree species

Abstract. Artificial linear plantings in the Central Chernobyl Region occupy an area of about 600 thousand hectares. The joint growth of silver birch and balsam poplar

at the age of 45 years with a placement of 2.5 x 0.75 m shows that the poplar exceeds birch in growth according to biometric indicators by 1.02 - 1.21 times. Silvicultural and reclamation assessment of protective plantings is 4a and a ventilated structure is formed in them. To develop agricultural areas and improve the growth and condition of silver birch in forest belts, it is necessary to use it separately when creating pure stands. The joint cultivation of silver birch and white acacia in forest belts at the age of 45 years at a placement of 3.0 x 0.75 m shows that the main species exceeds the growth of acacia in terms of biometric indicators by 1.1 - 2.6 times. Self-seeding of white acacia leads to the formation of an openwork structure, which should be taken into account when creating forest reclamation complexes. When balsam poplar and white acacia are grown in forest belts at the age of 50 years and placed at 3.0 x 1.0 m, an openwork structure is formed and the poplar, in terms of biometric indicators, exceeds white acacia by 1.4 - 2.6 times. In terms of safety, acacia exceeds poplar by 1.6 times. To develop agro-territories, it is necessary to take into account the ecological and biological characteristics of the species, soil conditions and the peculiarities of the formation of the structures of the vertical profile of the tree stand.

Key words: protective plantings, tree species, growth, biometric indicators.

Введение. Защитные лесные полосы в Европейской части России формируют экологический каркас в агроландшафтах [1, 3, 7]. В условиях Центрально-Чернозёмного региона они занимают площадь около 600 тыс. га и являются своеобразными рубежами по разграничению ареалов растительности [6, 9]. Такие насаждения представлены чистыми и смешанными по составу, в них произрастают определенные виды древесных пород и кустарников с различными агротехническими и лесокультурными приёмами выращивания [6]. Формируется определённая конструкция или структура поперечного профиля насаждений [8].

1. Объекты, методика

Объектами изучения являются системы защитных лесных насаждений в лесоаграрных ландшафтах в условиях Центрального Черноземья России. Исследования лесомелиоративных объектов проводились по общепринятым методикам в агролесомелиорации и таксации [2, 4, 5, 9]. Для изучения биометрических показателей роста, сохранности древесных пород и лесоводственно-мелиоративной оценки лесных полос закладывались пробные площади [4].

2. Результаты и их обсуждение

Древесные породы в защитных насаждениях имеют различия в росте в зависимости от лесокультурных и агротехнических приёмов создания (табл. 1).

В лесной полосе, созданной посадкой берёзы повислой и акации белой (пробная площадь № 1) с размещением 3,0 x 0,75 м в возрасте 45 лет берёза имеет выше сохранность, чем акация белая. Аналогичная закономерность наблюдается и в лесной полосе из этих же пород на пробной площади № 5. Сохранность берёзы повислой и акации белой практически одинакова, но средние диаметр и высота у этих пород существенно отличаются. Так, средний диаметр берёзы повислой – 27,9 см, акации белой – 16,3 см, а высоты соответственно 21,8 см и

16,2 см. Здесь акация белая вводится, как сопутствующая порода, а берёза повислая – главная порода. Берёза повислая в силу своих эколого-биологических свойств превосходит в росте акацию белую.

Таблица 1 – Характеристика защитных лесных насаждений

№ п/п	Состав насаждения / Число рядов	Ширина, м	Размещение, м	Порода	Густота, шт/га	Возраст, лет	Сохранность %	Средние		Бонитет	Конструкция
								диаметр см	высота, м		
1	Акб-Бп-Бп-Акб /4	12,0	3,0x0,75	Бп Акб	2222 2222	45	36,8 35,9	25,3 21,1	21,0 14,8	Ia II	Аж
2	Тбз-Бп-Бп-Тбз/4	10,0	2,5x0,75	Бп Тбз	2659 2660	45	34,0 30,9	22,7 27,4	20,9 22,0	Ia I	П
3	Бп-Бп-Бп/3	7,5	2,5x1,0	Бп	4000	50	33,1	26,6	22,0	Ia	П
4	Акб-Тбз-Тбз-Акб/4	12,0	3,0x1,0	Тбз Акб	1007 1666	50	23,4 38,9	32,0 21,3	24,2 16,8	Ia II	Аж
5	Акб-Бп-Бп-Акб/4	12,0	3,0x1,0	Бп Акб	1666 1007	45	30,9 37,3	27,0 16,3	21,8 16,2	Ia II	Аж
6	Бп-Бп-Бп-Бп-Бп/6	18,0	3,0x1,0	Бп	3333	50	32,8	30,6	21,6	Ia	Пр
7	Акб-Акб-Акб-Акб/4	12,0	3,0x1,0	Акб	3333	50	38,9	17,2	15,0	II	Аж
8	Бп-Бп-Бп-Бп/4	12,0	3,0x1,0	Бп	3333	48	32,1	27,4	20,7	Ia	П
9	Акб-Акб-Акб/3	9,0	3,0x1,5	Акб	2222	50	42,1	17,2	17,0	II	Аж
10	Дч-Дч-Дч-Дч-Дч/5	12,5	2,5x0,7	Дч	5714	57	28,1	31,3	21,7	I	П

Примечание: конструкция лесополос: П-продуваемая, Аж-ажурная

Лесополосы из акации и берёзы формируют ажурную конструкцию за счёт самосева, который уплотняет нижнюю часть защитного насаждения.

В лесной полосе из берёзы повислой и тополя бальзамического (пробная площадь № 2) в возрасте 45 лет при размещении 2,5 x 0,75 м берёза повислая имеет сохранность на 3,5 % выше, чем тополь. Это связано с тем, что тополь в 45 лет менее устойчив и в целом насаждение имеет лесоводственно-мелиоративная оценка насаждения – 4а. В лесополосе при ширине 10,0 м сформировалась продуваемая структура.

В лесной полосе, созданной из тополя бальзамического и акации белой (пробная площадь № 4) к возрасту 50 лет при размещении 3,0 x 1,0 м акация белая имеет большую сохранность (38,0 %), чем тополь (23,4 %) , что связано с меньшей устойчивостью тополя бальзамического. При этом тополь имеет высокий – Ia бонитет, тогда как акация белая – II класс бонитета. Лесоводственно-мелиоративная оценка этой лесополосы – 4а и в ней сформировалась высокоэффективная конструкция, которая приемлема для

условий ЦЧР. Ажурность связана с тем, что нижняя часть уплотняется самосевом акации белой.

Лесная полоса из берёзы повислой в возрасте 50 лет (пробная площадь № 3) имеет продуваемую конструкцию при размещении посадочных мест 2,5 x 1,0 м, где сохранность равна 33,1 %. При этом диаметр составляет 28,6 см, а высота 22,0 м. Данное насаждение высокобонитетное – Ia класс бонитета. Лесоводственно-мелиоративная оценка лесополосы – 5а. Это говорит о том, что данное насаждение оптимальна для условий ЦЧР.

Такие же высокие биометрические показатели можно наблюдать и на пробных площадях № 6 и № 8, где главной и единственной породой является берёза повислая. Ее показатели в возрасте 50 лет соответствуют тем условиям произрастания, которые определяют её рост.

Чистая по составу лесополоса из акации белой (пробная площадь № 7) с размещением посадочных мест 3,0 x 1,0 м в возрасте 50 лет формирует ажурную конструкцию, сохранность акации - 38,9 %, средняя высота - 15,0 м, диаметр - 17,2 см, бонитет – II, запас составляет 256,3 м³/га. Лесоводственно-мелиоративная оценка – 5а.

Лесополоса (пробная площадь № 9), состоящая также из акации белой при размещении посадочных мест 3,0 x 1,5 м и возраста 50 лет имеет ажурную структуру, что связано с обильным самосевом в нижней её части. Сохранность составляет 42,1 % при среднем диаметре 17,2 см и высоте 17,0 м, бонитет – II, запас – 294,0 м³/га. Лесоводственно-мелиоративная оценка – 5а.

В лесной полосе, созданной из дуба черешчатого в возрасте 57 лет и размещением посадочных мест 2,5 x 0,7 м сформирована продуваемая конструкция. Сохранность дуба черешчатого составляет 28,1 % при среднем диаметре 31,3 см и высоте 21,7 м. Бонитет – II, запас составляет 395,9 м³/га. Лесоводственно-мелиоративная оценка – 5а.

Заключение

Изученные лесомелиоративные насаждения на территории землепользования в своём составе имеют берёзу повислую, акацию белую, тополь бальзамический, дуб черешчатый и их возраста составляет от 45 до 57 лет, ширина 9-18 м, количество рядов от 3 до 6, конструкция – ажурная, продуваемая.

Состояние пород в лесополосах вполне удовлетворительное, что свидетельствует о дальнейшем их использовании в защитном лесоразведении при совершенствовании лесомелиоративных комплексов в аграрных ландшафтах

Берёза повислая при совместном выращивании с тополем бальзамическим испытывает взаимовлияние со стороны тополя. При выращивании берёзы повислой и акации белой берёза является главной породой и превосходит в росте акацию белую и при этом формируется ажурная структура насаждений.

Акация белая вводится как сопутствующая порода, её показатели намного ниже, чем у главных пород. Дуб черешчатый, используемый в лесополосах как

главная порода, имеет высокий класс бонитета (I) и характеризуется довольно высокими биометрическими показателями роста.

Список литературы

1. Агролесомелиорация : учебное пособие / под. ред. проф. П.Н. Проездова; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ».- Саратов, 2008. – 668 с.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. - 4-е изд, перераб. и доп. - М. Колос. 1979. – 416 с.
3. Кретинин, В. М. Агролесомелиорация почв / В. М. Кретинин. – Волгоград: ВИАЛМИ, 2009. - 198 с.
4. Методические основы оценки лесогидромелиоративных систем : учеб. пособие / В. К. Попов [и др.] ; Фед. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования, Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж, 2005. - 79 с.
5. Танюкевич, В. В. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос степных агролесоландшафтов : монография / В. В. Танюкевич. – Новочеркасск: Лик, 2012. – 175 с.
6. Харченко, Н.Н. Особенности роста берёзы повислой в искусственных линейных защитных насаждениях лесостепи / Н.Н. Харченко, В.В. Михина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2020, №3 (50). – С. 390-393.
7. Шаталов, В. Г. Лесные мелиорации : учебник / В. Г. Шаталов; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – 3-е изд. стер. – Воронеж, 2020. – 220 с.
8. Энциклопедия агролесомелиорации / сост. и глав. ред. Е. С. Павловский. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. - С. 195-199.
9. Mikhin V.I Growth and ameliorative role of protective plantation in conditions of forest-steppe zone / V.I. Mikhin, V V Taniykevich, E.A. Mikhina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.-2020.Vol.595.,conf. -012045.

References

1. Agroforestry : textbook / edited by prof. P.N. Proezdova; Saratov State Agrarian University.- Saratov, 2008. – 668 p.
2. Dospekhov, B. A. Methodology of field experience: (with the basics of statistical processing of research results) / B. A. Dospekhov. - 4th ed., reprint. and additional - M. : Kolos. 1979. – 416 p.
3. Kretinin, V. M. Agroforestry of soils / V. M. Cretinin. – Volgograd : VIALMI, 2009. - 198 p.
4. Methodological foundations of forest hydro-reclamation systems assessment : textbook / V. K. Popov [et al.] ; Federal Agency for Education, State Educational Institution. institution of higher Prof. education, Voronezh. state Forestry Engineering. acad. - Voronezh, 2005. - 79 p

5. Tanyukevich, V. V. Productivity and reclamation role of forest strips of steppe agroforest landscapes : monograph / V. V. Tanyukevich. – Novocherkassk : Lik, 2012. – 175 p.
6. Kharchenko, N.N. Features of the growth of the hanging birch in artificial linear protective stands of the forest-steppe / N.N. Kharchenko, V.V. Mikhina // Actual directions of scientific research of the XXI century: thorium and practice. - 2020, №3 (50). – Pp. 390-393.
7. Shatalov, V. G. Forest reclamation : textbook / V. G. Shatalov; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, FGBOU VPO "VGLTA". – 3rd ed. erased. – Voronezh, 2020. – 220 p.
8. Encyclopedia of agroforestry / comp. and chap. ed. E. S. Pavlovsky. – Volgograd: VNIALMI, 2004. - pp. 195-199.
9. Mikhin V.I Growth and ameliorative role of protective plantation in conditions of forest-steppe zone / V.I. Mikhin, V V Tanyukevich, E.A. Mikhina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.-2020.Vol.595.,conf. -012045.

Недбаев И.С.^{1,2}, Семенова Е.И.¹, Сорока А.О.¹

¹Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, г. Санкт-Петербург,

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Оценка уязвимости лесов к климатическим изменениям

Аннотация. В работе приведена оценка уязвимости лесов к климатическим изменениям в разрезе субъектов Российской Федерации. Разработана методика комплексной оценки уязвимости лесов, состоящая из ретроспективной оценки подверженности лесов рискам, вызванным климатическими изменениями (на основе имеющихся статистических данных), и прогнозной оценки, базирующейся на динамике климатических показателей на середину (2050-е гг.) и конец (2090-е гг.) XXI века. На основании методики для каждого субъекта рассчитан нормированный индекс уязвимости, проведено ранжирование субъектов по степени подверженности климатическим рискам. Произведен анализ уязвимости для каждого из климатических рисков, характерных для лесного хозяйства. Выявлены наиболее подверженные негативному воздействию изменений климата регионы РФ. По результатам ретроспективного анализа, наибольшие суммарные значения нормированного индекса уязвимости характерны для Ивановской, Костромской, Новосибирской областей, Камчатского края. Наибольшая прогнозная уязвимость, связанная с изменением климатических параметров характерна для дальневосточных регионов – Камчатского края, Сахалинской области и Чукотского автономного округа. Данные регионы наиболее сильно подвергаются воздействию негативных климатических изменений, что должно быть отражено в усилении внимания к адаптации лесного хозяйства.

Ключевые слова: климатические риски, адаптация, лесные экосистемы, продуктивность лесов, видовой состав леса, лесные пожары, болезни леса, лесное хозяйство.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФБУ «СПбНИИЛХ» по теме «Научно-аналитическое и организационно-методическое обеспечение реализации государственной климатической политики в области лесного хозяйства в 2022 году».

Assessment of the vulnerability of forests to climate change

¹ Federal State-Financed Institution of Higher Education, St. Petersburg

² Forestry Research Institute, St. Petersburg
Saint-Petersburg State University, St. Petersburg

Abstract. This paper presents an assessment of forest vulnerability to climate change in the context of the Russian Federation. The methodology of complex assessment of forest vulnerability, consisting of a retrospective assessment of forest exposure to risks caused by climate change (based on available statistical data) and forecast assessment based on the dynamics of climatic indicators in the mid (2050s) and late (2090s) XXI century, was developed. Based on the methodology, a normalized vulnerability index was calculated for each subject, and subjects were ranked according to their exposure to climatic risks. Vulnerability analysis was carried out for each of the climatic risks characteristic of forestry. The regions of the Russian Federation most exposed to the negative impact of climate change were identified. According to the results of retrospective analysis, the highest total values of the normalized vulnerability index are characteristic of the Ivanovo, Kostroma, Novosibirsk regions and Kamchatka Territory. The greatest predicted vulnerability associated with changes in climatic parameters is characteristic of the Far Eastern regions - Kamchatka Territory, Sakhalin Region and Chukotka Autonomous District. These regions are most severely affected by negative climatic changes, which should be reflected in increased attention to forestry adaptation.

Keywords: climatic risks, adaptation, forest ecosystems, forest productivity, forest species composition, forest fires, forest diseases, forestry.

Acknowledgments

The research was conducted as part of the state assignment of the FBU SPbNIILKh on "Scientific-analytical and organizational-methodological support for the implementation of state climate policy in the field of forestry in 2022".

1. Введение

Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата оказывают существенное влияние на процессы функционирования социально-экономических систем [1]. В частности, наибольшему влиянию подвержены климатозависимые отрасли экономики, такие как сельское, лесное и водное хозяйство [2]. По данным многолетних исследований, в лесах мира уже происходят существенные изменения и, по прогнозным оценкам, воздействие будет усиливаться. По этой причине адаптация лесных экосистем требует особого внимания.

Для разработки эффективных адаптационных решений необходимо понимание, насколько система подвержена рискам, связанным с изменением климата. Понимание уязвимости лесов и связанных с ней факторов имеет

решающее значение для устойчивого управления лесными экосистемами [3]. В методических указаниях ФАО фигурирует определение уязвимости как склонности или предрасположенности к неблагоприятному воздействию [4]. Уязвимость включает в себя множество концепций и элементов, включая чувствительность или восприимчивость к ущербу и отсутствие способности восстанавливать своё состояние и адаптироваться. Устойчивость определяется как способность социальных, экономических и экологических систем справляться с опасным событием, тенденцией или нарушением, реагируя или реорганизуясь таким образом, чтобы сохранить свою основную функцию, идентичность и структуру и при этом способность к адаптации, обучению и трансформации. Устойчивость также учитывается при прогнозировании того, как системы могут реагировать на изменение климата. Таким образом, уязвимость и устойчивость являются взаимосвязанными аспектами воздействия изменения климата на системы: уязвимость отражает ущерб, который может быть нанесен системе изменением климата, а устойчивость отражает способность системы продолжать работу, несмотря на воздействие изменения климата. Хотя это тесно связанные понятия, уязвимость и устойчивость не являются противоположными понятиями, поскольку система может быть как уязвимой к изменению климата, так и устойчивой, если она способна восстанавливаться от ущерба, вызванного изменением климата, и адаптироваться к нему.

Уязвимость и устойчивость можно проанализировать, рассмотрев воздействие на систему. Воздействия часто характеризуются тремя параметрами: воздействие потенциально разрушительного климата или погоды; чувствительность системы к этому воздействию и способность системы адаптироваться после того, как воздействие произошло. Подходы к оценке уязвимости можно классифицировать в соответствии с направленностью, которую каждый из них обеспечивает. Контекстная уязвимость затрагивает текущие проблемы климата и обычно оценивается с использованием методов участия людей, которые живут в лесах или работают с ними. Итоговая уязвимость рассматривает биофизическую уязвимость лесов; она часто используется для оценки причинно-следственных связей изменения климата с биологической системой. Существует ряд подходов к оценке уязвимости лесов к изменению климата. Они могут быть сгруппированы в следующие категории в зависимости от типа информации, которая используется или генерируется при оценке: экспертное мнение, ретроспективный анализ, состояние леса и жизненные признаки, климатические модели, и физиологические модели.

Оценка уязвимости лесов к изменению климата характеризует биофизическое воздействие климата на структуру леса и/или функцию леса. Биофизический эффект – это биологическая реакция на физическую среду, которая, в первую очередь, касается воздействия на породы деревьев и другие виды растений температуры, воды (в виде осадков или наличия влаги в почве) или концентрации атмосферного CO₂. При выборе подхода к оценке уязвимости лесов на региональном уровне МГЭИК рекомендует использовать информацию об исторической среднегодовой сезонной температуре и осадках, т. е.

вероятность температуры и осадков, выходящих за пределы определенного диапазона, основанного на текущем климате и будущем климате, сценарии, данные об изменениях в видовом составе, а также информацию о гибели насаждений от пожаров и от повреждений насекомыми и болезнями [5]. Для любого оцениваемого аспекта анализ биофизической уязвимости должен предоставлять информацию о прогнозируемых воздействиях изменения климата, чувствительности к климатическим факторам и способности адаптироваться к изменению климата.

Оценкой уязвимости лесов к климатическим изменениям занимались учёные из различных стран, представляя в научных публикациях свой региональный опыт определения уязвимости лесов: Т.Т. Timberlake и С.А. Schultz в США [6], С. Choi¹, W.-K. Lee¹, D.-A. Kwak¹, S. Lee¹, Y. Son¹, J.-H. Lim в Республике Корея, J. Saborowski в Германии, J. Coll, J. Sweeney в Ирландии, G.S. Smith, F. Asci¹, A.P. O'Grady, E. Pinkard в Австралии и др. В Российской Федерации активно тематику адаптации лесов к изменению климата и оценки уязвимости развивают сотрудники ФБУ «СПбНИИЛХ» и ЦЭПЛ РАН.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке уязвимости лесов Российской Федерации к климатическим изменениям в разрезе субъектов. Практическая значимость проведённого исследования состоит в формировании ранжированного перечня регионов для определения наиболее уязвимых к рискам, вызванным климатическими изменениями и проявляющимся в негативных последствиях для состояния лесов. Следствием полученных в работе выводов может являться определение вектора будущих управленческих решений в сфере адаптации лесов к климатическим изменениям на региональном уровне.

2. Материалы и методы

Для оценки уязвимости лесов территории субъектов Российской Федерации к рискам, вызванным климатическими изменениями, был разработан авторский методологический подход на основе рекомендаций ФАО, МГЭИК и разработок ФБУ «СПбНИИЛХ» (таблица 1). Подход заключается в комплексной оценке уязвимости, которая состоит из ретроспективной оценки подверженности лесов рискам, вызванным климатическими изменениями (на основе имеющихся статистических данных), и прогнозной оценки динамики климатических показателей на 50-е и 90-е гг. XXI века [7].

Для ретроспективной оценки было изучено проявление всех рисков, вызванных климатическими изменениями, характерных для лесов (таблица 1) и предложены экосистемные показатели, основанные на имеющихся статистических данных лесного сектора, и климатические показатели, характеризующие проявления рисков (таблица 2). За ретроспективную оценку принималось сравнение динамики двух пятилетних периодов (с 2013 по 2018 год и с 2018 по 2022). Данное разделение, помимо изучения десятилетней динамики, также позволит ознакомиться с проявлением климатических изменений в лесах до введения на федеральном уровне в лесное планирование адаптационных мер и мероприятий в лесах и после.

Таблица 1. Риски, вызванные климатическими изменениями, и описание уязвимости для лесов, возникающей в результате проявления рисков

Риск, вызванный климатическими изменениями	Описание уязвимости
Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков	<p>Вследствие устойчивого потепления климата и изменения режима увлажнения, продуктивность лесов может, как увеличиваться (за счет изменения продолжительности вегетационного периода, сроков вегетации и усиления фотосинтетической активности), так и уменьшаться (вследствие засухи или заболачивания территории) [8].</p> <p>Рост средних значений температуры приводит к изменению теплообеспеченности территории, что отражают такие показатели как сумма активных температур воздуха (сумма температур выше 10°C) и длительность вегетационного периода (количество дней с температурой выше 10°C).</p> <p>Изменение количества выпадаемых осадков сказывается на влагообеспеченности территории, что отражает значение гидротермического коэффициента Селянинова. (отношение суммы осадков в мм за период со среднесуточными температурами воздуха выше 10°C к сумме температур за это же время).</p> <p>Изменение продуктивности сказывается на запасе лесных насаждений на единицу площади, которое можно определить по динамике общего среднего прироста на гектар.</p>
Изменения в видовом (породном) составе лесов	<p>На видовой состав лесов оказывают влияние различные климатические факторы: изменение средней температуры воздуха (отражает показатель суммы активных температур), гидрологического режима территории (гидротермический коэффициент Селянинова) [9].</p> <p>Смена видового состава лесов отражается в изменении соотношения площади лесных насаждений, занимаемых той или иной группой (например, соотношением хвойных, твердолиственных и мягколиственных древесных пород).</p>
Увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами	<p>Рост частоты возникновения лесных пожаров обусловлен повышением температуры воздуха и уменьшением количества выпадаемых осадков. Комплексный показатель пожарной опасности в лесах (показатель Нестерова) вычисляется на основе данных о температуре воздуха, температуре точки росы, количестве выпавших осадков.</p> <p>Среди экосистемных показателей, отражающих пожароопасную ситуацию в лесах, стоит выделить площадь, пройденную огнем и число пожаров за период [10].</p>
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	<p>Увеличение вспышек массового размножения насекомых и болезней леса происходит вследствие создания благоприятных условий для размножения насекомых вредителей (оптимальная температура и влажность), а также ослабления древостоя.</p> <p>Наиболее комплексным для оценки уязвимости является значение гидротермического коэффициента Селянинова [11].</p> <p>Последствия вспышек массового размножения вредных насекомых и болезней леса отражает показатель средней площади очагов вредных организмов в исследуемый период, соотношение средней площади очагов вредных организмов к площади неповрежденных лесных насаждений.</p>
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах	<p>Изменение климата ведет к увеличению частоты проявления экстремальных погодных явлений, которое может привести к гибели и повреждениям лесных насаждений. К экстремальным погодным явлениям относится засуха, сильные атмосферные осадки, наводнения, ураганы, смерчи, сильный ветер, которые обусловлены увеличением температуры и количества осадков.</p>

Риск, вызванный климатическими изменениями	Описание уязвимости
	Высокая уязвимость лесов будет характеризовать увеличение площадей гибели лесных насаждений от экстремальных погодных условий и почвенно-климатических факторов.

Таблица 2. Используемые показатели для расчёта нормированного индекса уязвимости

Риск, вызванный климатическими изменениями	Климатические показатели	Экосистемные показатели
Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков	Сумма активных температур воздуха Длительность вегетационного периода Гидротермический коэффициент Селянинова	Динамика среднего прироста на гектар
Изменения в видовом (породном) составе лесов	Сумма активных температур воздуха Гидротермический коэффициент Селянинова	Динамика соотношения площади лесов по группам пород (хвойные, твердолиственные, мягколиственные)
Увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами	Число суток комплексного показателя Нестерова более 2	Динамика средней ежегодной площади, пройденной огнём, за период Динамика среднего ежегодного числа пожаров за период
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	Гидротермический коэффициент Селянинова	Динамика среднего процента площади очагов вредных организмов к площади лесных земель за период; Динамика средней площади очагов вредных организмов за период.
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах	Среднегодовая температура Среднегодовая сумма осадков	Динамика общей площади лесов, погибших от экстремальных погодных условий и почвенно-климатических факторов

Каждый показатель нормировался по методу MIN-MAX, чтобы представить выборку в численных значениях от 0 до 1. Таким образом, субъект Российской Федерации, в котором наиболее значительно был проявлен риск (например, была площадь пожаров наибольшей), получал значение показателя 1, а где негативные последствия были минимальными – значение показателя 0. При наличии нескольких показателей, характеризующих проявление одного риска (например, сумма активных температур воздуха и длительность вегетационного периода совместно сказываются на продуктивности лесов), нормированные значения нескольких показателей усреднялись. Полученный показатель получил название нормированный индекс уязвимости (к конкретному риску, вызванному климатическими изменениями).

Таким образом, при сопоставлении ретроспективной оценки (подверженность лесов риску) и прогнозной оценке (интенсивность климатических изменений в регионе) можно сделать вывод о масштабах

ожидаемых климатических изменений и негативных последствий для лесов. Было принято решение классифицировать субъекты Российской Федерации по трём уровням уязвимости: высокий, средний и низкий. Разделение по уровням происходило следующим образом: к высокому уровню уязвимости причислялись субъекты, имеющие значение нормированного индекса уязвимости выше 75-го квартиля; к среднему уровню уязвимости – от 25-го до 75 квартиля; к низкому – ниже 25-го квартиля.

Определение общей уязвимости субъектов Российской Федерации к рискам, вызванным климатическими изменениями, необходимо для решения стратегических вопросов адаптации лесов России к климатическим изменениям, поскольку позволяет взглянуть комплексно на устойчивость и уязвимость лесных насаждений к пяти изученным рискам. Методологической основой общей уязвимости является балльная система на основе ранжирования субъектов к отдельным рискам, описанного выше. Математически схема определения общей уязвимости выглядит следующим образом:

$$U = \text{Пр} + \text{Пор} + \text{Пож} + \text{Нас} + \text{ЭПЯ}, \text{ где}$$

U – балльный индекс уязвимости лесов к рискам, вызванным климатическими изменениями, баллы;

Пр – ранг уязвимости лесов к риску изменения продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков, баллы;

Пор – ранг уязвимости лесов к риску изменения в видовом (породном) составе лесов;

Пож – ранг уязвимости лесов к риску увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадях, пройденных пожарами, баллы;

Нас – ранг уязвимости лесов к риску увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах, баллы;

ЭПЯ – ранг уязвимости лесов к риску увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах, баллы.

Ранг уязвимости лесов определяется по следующей схеме: высокая уязвимость – 2 балла, средняя уязвимость – 1 балл, низкая уязвимость – 0 баллов.

Таким образом, балльный индекс уязвимости лесов к рискам, вызванным климатическими изменениями, может варьироваться в пределах от 0 (низкая уязвимость ко всем рискам) до 10 (высокая уязвимость ко всем рискам). Данная система ранжирования позволит разделить все субъекты на 11 классов (хотя при практической реализации субъекты оказались разделены на 9 классов при ретроспективной оценке и 7 классов для прогнозных значений), что будет целесообразно использовать при планировании адаптационных мер и финансировании адаптационных мероприятий на федеральном уровне.

3. Результаты

В табл. 3 представлены результаты ранжирования субъектов Российской Федерации по балльному индексу уязвимости лесов к рискам, вызванным климатическими изменениями.

Таблица 3. Ранжирование субъектов Российской Федерации по балльному индексу уязвимости лесов к рискам, вызванным климатическими изменениями

Значение балльного индекса уязвимости, баллы	Субъекты Российской Федерации		
	ретроспективная оценка	прогноз на 50-е гг. XXI века	прогноз на 90-е гг. XXI века
9	Ивановская область		
	Камчатский край		
	Костромская область	-	-
	Новосибирская область		
8	Республика Адыгея		
	Амурская область		
	Московская область	Камчатский край	Камчатский край
	Республика Калмыкия	Сахалинская область	Чукотский автономный округ
	Республика Саха Якутия	Чукотский автономный округ	
7	Свердловская область		
	Томская область		
	Калужская область		Донецкая народная Республика
	Краснодарский край		Запорожская область
	Красноярский край		Краснодарский край
	Магаданская область		Луганская народная Республика
	Ненецкий автономный округ		Ненецкий автономный округ
	Пензенская область	Еврейская автономная область	Пермский край
	Республика Башкортостан	Кировская область	Республика Адыгея
	Республика Дагестан	Республика Крым	Республика Ингушетия
	Республика Ингушетия	Свердловская область	Республика Коми
	Республика Карелия	Чеченская Республика	Республика Северная Осетия — Алания
	Республика Тыва		Ростовская область
	Тюменская область		Сахалинская область
	Ульяновская область		Ставропольский край
Челябинская область		Удмуртская Республика	
6	Ямало-Ненецкий автономный округ		Херсонская область
	Алтайский край	Донецкая народная Республика	
	Владимирская область	Запорожская область	
	Волгоградская область	Кабардино-Балкарская Республика	Астраханская область
	г. Севастополь	Калининградская область	Кабардино-Балкарская Республика
	Донецкая народная Республика	Карачаево-Черкесская Республика	Карачаево-Черкесская Республика
	Запорожская область	Краснодарский край	Кировская область
	Иркутская область	Луганская народная Республика	Мурманская область
	Кабардино-Балкарская Республика	Магаданская область	Республика Калмыкия
	Республика	Мурманская область	Республика Крым
	Карачаево-Черкесская Республика	Нижегородская область	Республика Марий Эл
	Луганская народная Республика	Омская область	Томская область
	Приморский край	Приморский край	Чеченская Республика
	Республика Алтай	Республика Адыгея	
Республика Крым	Республика Алтай		
Республика Хакасия			

Значение балльного индекса уязвимост и, баллы	Субъекты Российской Федерации		
	ретроспективная оценка	прогноз на 50-е гг. XXI века	прогноз на 90-е гг. XXI века
	Ростовская область Саратовская область Сахалинская область Удмуртская Республика Хабаровский край Ханты Мансийский автономный округ Херсонская область Чукотский автономный округ	Республика Калмыкия Республика Карелия Республика Коми Республика Северная Осетия — Алания Республика Хакасия Ростовская область Ставропольский край Ханты-Мансийский автономный округ Херсонская область Чувашская Республика	
5	Архангельская область Брянская область Воронежская область Еврейская автономная область Ленинградская область Мурманская область Омская область Псковская область Республика Коми Республика Марий Эл Республика Северная Осетия — Алания Республика Татарстан Рязанская область Тульская область Чеченская Республика	Алтайский край Астраханская область Кемеровская область Красноярский край Ненецкий автономный округ Новосибирская область Пермский край Псковская область Республика Дагестан Республика Ингушетия Республика Марий Эл Республика Саха (Якутия) Республика Тыва Тюменская область Удмуртская Республика Ульяновская область Ярославская область	Алтайский край Белгородская область Волгоградская область Вологодская область Воронежская область Еврейская автономная область Ивановская область Калининградская область Кемеровская область Костромская область Курганская область Липецкая область Нижегородская область Новосибирская область Омская область Приморский край Республика Алтай Республика Дагестан Республика Татарстан Республика Тыва Республика Хакасия Самарская область Свердловская область Ханты-Мансийский автономный округ Чувашская Республика
4	Белгородская область Вологодская область Калининградская область Кемеровская область Кировская область Курская область Липецкая область Нижегородская область Новгородская область Оренбургская область Тамбовская область Чувашская Республика Смоленская область	Амурская область Архангельская область Белгородская область Брянская область Вологодская область Воронежская область Ивановская область Костромская область Курганская область Ленинградская область Новгородская область Оренбургская область	Архангельская область Брянская область Забайкальский край Красноярский край Курская область Ленинградская область Орловская область Псковская область Республика Башкортостан Республика Карелия Саратовская область Тамбовская область Тюменская область

Значение балльного индекса уязвимост и, баллы	Субъекты Российской Федерации		
	ретроспективная оценка	прогноз на 50-е гг. XXI века	прогноз на 90-е гг. XXI века
		Республика Башкортостан Республика Татарстан Самарская область Саратовская область Тверская область Хабаровский край Ямало-Ненецкий автономный округ	Ульяновская область Челябинская область Ямало-Ненецкий автономный округ Ярославская область
3	Забайкальский край Курганская область Орловская область Пермский край Республика Бурятия Республика Мордовия Тверская область	Владимирская область Волгоградская область Иркутская область Курская область Липецкая область Московская область Орловская область Пензенская область Республика Бурятия Смоленская область Тамбовская область Томская область Тульская область Челябинская область	Амурская область Владимирская область Калужская область Московская область Новгородская область Оренбургская область Пензенская область Республика Мордовия Республика Саха (Якутия) Рязанская область Тверская область Тульская область Хабаровский край
2	Самарская область	Забайкальский край Калужская область Республика Мордовия Рязанская область	Иркутская область Магаданская область Республика Бурятия Смоленская область
1	Ярославская область	-	-

На рисунке 1 представлены схемы пространственной дифференциации субъектов Российской Федерации по нормированному индексу уязвимости лесов к рискам, вызванным климатическими изменениями.

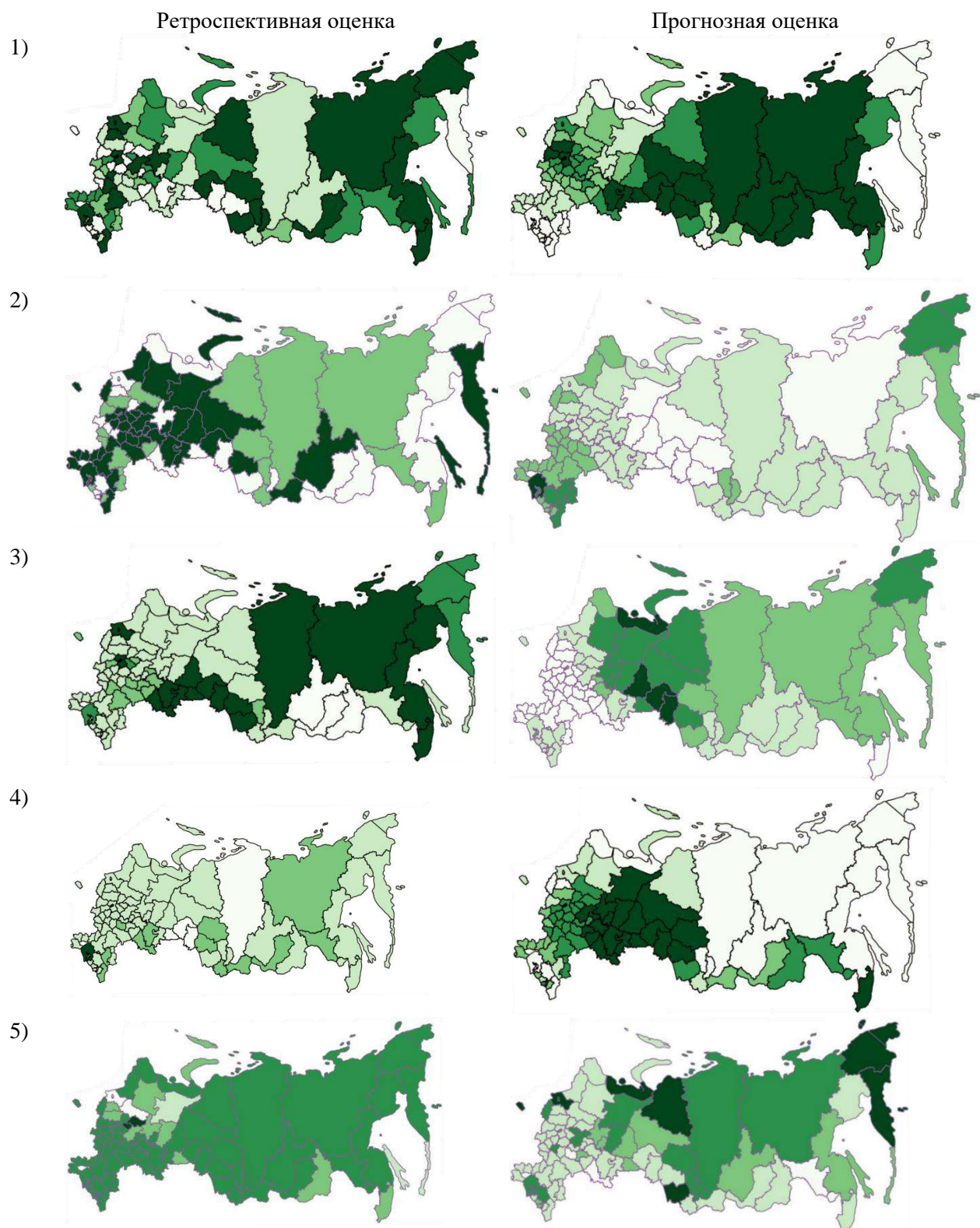


Рисунок 1. Схемы пространственной дифференциации субъектов Российской Федерации по нормированному индексу уязвимости лесов к рискам вызванным климатическими изменениями: 1 – изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков, 2 – изменения в видовом (породном) составе лесов, 3 – увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами, 4 – увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах, 5 – увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах. Интенсивность цвета обозначает более высокие значения нормированного индекса уязвимости

4. Дискуссия

Уязвимость к риску изменения продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков

Как можно видеть из прогнозируемых значений, наибольшее изменение нормированного индекса продуктивности характерно, в первую очередь, для прибрежных регионов и северо-востока, юго-запада и северо-запада России. Высокие значения отмечаются в целом по всей территории Европейской части России (за исключением Московской, Рязанской, Тульской и Владимирской областей), и на юге Сибири. Рост данного показателя обусловлен прогнозируемым увеличением температуры и осадков для данных регионов.

Учет влагообеспеченности включает в себя гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова. Наиболее выражено уменьшение влажности прогнозируется для континентальных регионов Урала, центра Западной Сибири и Поволжья. Сильнее всего данный показатель будет расти в ЮФО (максимально в Краснодарском крае и Адыгее), в СЗФО, в некоторых субъектах СКФО (максимум в Ставропольском крае и р. Дагестан), в некоторых регионах СФО (р. Хакассия, Алтайский край, Красноярский край, Иркутская и Кемеровская области).

Наиболее подверженными негативным тенденциям климатических изменений, согласно прогнозам, окажутся регионы Сибири и Дальнего Востока, Урала и континентальной части ЕЧР. Низкие значения нормированного индекса уязвимости для регионов Сибири и Дальнего Востока связаны с невысоким относительно других субъектов ростом суммы активных температур (в среднем на 377 к 2050 г. и 821 к 2090 г., в среднем по России – 508 и 1038 соответственно). Минимальные значения суммы активных температур в Красноярском крае (201,4 на 2050 г. и 501,7 на 2090 г.) и Якутии (242,4 на 2050 г. 539,7 на 2090). Соответственно, длительность вегетационного периода также увеличивается менее интенсивно, чем на остальной территории РФ.

Потепление на территориях Урала будет выражено несколько сильнее (в среднем, 439.8 на 2050 г. и 992.3 на 2090 г.), но, при этом, прогнозируется уменьшение влажности. Значения ГТК Селянинова уменьшатся и составит в среднем -0.13 и – 0.32 на середину и конец века, при среднероссийских – 0.01 и -0.02 соответственно. Похожая картина наблюдается в регионах Поволжья, изменения суммы активных температур (в среднем 554.4 и 1127), ГТК Селянинова – -0.08 и -0.15. Данные тенденции свидетельствуют о возможных засухах, что негативно отразится на приросте древостоя.

Регионы в ЦФО, подверженные негативным тенденциям климатических изменений – Московская, Владимирская, Калужская, Рязанская, Смоленская, Тульская, и Тверская области характеризуются низкими значениями роста температуры и длительности вегетационного периода, с небольшим изменением (-0.04 – 0.01) ГТК Селянинова.

Уязвимость к риску изменения в видовом (породном) составе лесов

Согласно ретроспективному анализу (на основе данных 2013–2022 гг.), Европейская часть России наиболее подвержена риску изменения породного состава. В 46 субъектах Российской Федерации уже наблюдается замещение

хвойных и твёрдолиственных пород на мягколиственные. Наиболее устойчивыми регионами, где наблюдается рост площадей покрытых хвойными и твёрдолиственными породами, являются Брянская, Липецкая, Орловская, Ярославская, Ленинградская, Мурманская, Новгородская, Кировская, Оренбургская, Курганская, Омская и Магаданская области, Республики Кабардино-Балкария, Северная Осетия, Хакасия, Бурятия, Ставропольский, Алтайский, Забайкальский и Хабаровский края и Ненецкий и Чукотский автономные округа. Из полученных схем (рисунки) следует, что наиболее уязвимыми регионами для риска изменения породного состава лесов в 50-х и 90-х гг. XXI будут являться Чукотский и Ненецкий автономные округа и Краснодарский край. Ожидается, что Южный федеральный округ окажется наиболее уязвимым к риску смены пород, в особенности Краснодарский край, Республика Адыгея и Республика Дагестан.

В Краснодарском крае за последние 10 лет площадь хвойных лесов снизилась на 200 га, а твёрдолиственных – на 500 га; площадь мелколиственных увеличилась на 300 га. Данные значения не очень велики по сравнению с общероссийскими изменениями, однако в этом регионе ожидается увеличение к концу XXI века суммы активных температур на 1500, что является самым значительным изменением по России и что будет, несомненно, сказываться на породном составе, а гидротермический коэффициент Селянинова увеличится на 0,4. В Республике Адыгея гидротермический коэффициент тоже увеличится на 0,4 к концу века, а сумма активных температур увеличится на 1200. В Республике Дагестан сумма активных температур увеличится на 1400, а ГТК Селянинова увеличится на 0,1. Рекомендуется обратить внимание на меры адаптации лесов к риску смены породного состава в Южном федеральном округе.

Уязвимость к риску увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами

Ретроспективная оценка уязвимости лесов к риску увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами показал, что наиболее чувствительными регионами является Республика Саха (Якутия), Красноярский край, Хабаровский край, Курганская область, Челябинская область, Свердловская область, Омская область, Республика Башкортостан, Тюменская область, Магаданская область, Новосибирская область, Алтайский край, Приморский край, Оренбургская область, Московская область, Ленинградская область, Владимирская область, Чукотский автономный округ, Камчатский край, Краснодарский край, Саратовская область, Ульяновская область, Воронежская область и Кемеровская область, а наиболее устойчивыми регионами являются Забайкальский край, Иркутская область и Республика Бурятия.

По прогнозным показателям сохраняется высокая уязвимость в Уральском федеральном округе, а также высокая уязвимость отмечается в регионах: Ханты-Мансийский автономный округ, Республика Коми, Архангельская область, Чукотский автономный округ и Камчатский край, Пермский край, Кировская область и Омская область.

Наиболее уязвимыми регионами для риска увеличения частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами, в 50-х и 90-х гг. XXI будут Свердловская область и Тюменская область. Рекомендуются обратить внимание на адаптационные мероприятия к риску увеличения частоты возникновения лесных пожаров. Наименее подверженным риску является Центральный и Приволжский федеральный округ.

Уязвимость к риску увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах

Максимальные значения нормированного индекса уязвимости отмечены в Краснодарском крае и связаны с существенным увеличением площади очагов вредных организмов (549 тыс. га). Существенный рост площади очагов вредных организмов отмечен и в р. Башкортостан (321 тыс. га), и Якутии (150 тыс. га), Новосибирской обл. (59 тыс. га). Минимальные значения – в Омской области, что связано со значительным уменьшением площади очагов вредных организмов (508 тыс. га).

На фоне остальных субъектов выделяется Красноярский край – низкие значения нормированного индекса уязвимости за период 2013 – 2022 гг. обусловлен значительным уменьшением негативных тенденций (уменьшение площади очагов вредных организмов на 238 тыс. га).

Засушливая погода способствует развитию вредителей леса. Засуха с мая по июль создает благоприятные условия для весенне-летней группы листо- и хвоегрызущих вредителей. Засушливая погода июля — сентября создает благоприятные условия для развития вредителей, питающихся в эти месяцы. Вспышкам массового размножения после засухи может наиболее быстро реализоваться у вредителей с двойной генерацией, которые могут нанести первые сильные повреждения через 1,5 года, несколько медленнее у вредителей с однолетней генерацией и растянутым периодом личиночной стадии (до 3— 4 лет). Таким образом, уменьшение значения ГТК Селянинова служит основой для выявления уязвимости субъекта к данному риску.

Наибольшие значения нормированного индекса уязвимости отмечены для регионов Поволжья, Урала и юга Западной Сибири. Также негативные тенденции прогнозируются для Приморского края.

Уязвимость к риску увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах

Значительная территория Российской Федерации находится под серьёзным влиянием риска увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах. Причём, проявления данного риска увеличиваются в динамике за последние 10 лет. Исключение составляют лишь регионы, где с 2013 по 2015 гг. были значительные площади погибших лесных насаждений, но в последние годы они в разы сократились (Ленинградская область, Санкт-Петербург, Вологодская область). Возможно, в этом сыграли свою роль адаптационные мероприятия к риску увеличения частоты проявления экстремальных погодных явлений. Наиболее стремительные климатические изменения (по значениям температуры и осадков) ожидаются на Урале и на Дальнем Востоке (потепление на 2–3 °С к середине XXI века), что

контрастирует с ретроспективной оценкой, которая демонстрирует, что именно в Центральной части России была наиболее интенсивной динамика увеличения площадей погибших лесов от погодных условий (Костромская область – увеличение площади погибших лесов за 10 лет на 2000 га, Ивановская область – на 1000 га).

К 90-м гг. XXI увеличится уязвимость отдельных регионов Российской Федерации в сравнении с прогнозом на 50-е гг. Данная ситуация типична для Ленинградской области и Санкт-Петербурга, Ненецкого автономного округа, Алтайского края и Камчатского края. Особенно уязвимыми уже к 50-м гг. XXI века будут Калининградская область, Ямало-Ненецкий и Чукотский автономные округа. Наименьшие изменения, по прогнозам, будут в Амурской, Оренбургской и Пензенской области. Южный и Северо-Кавказский федеральные округа имеют незначительную динамику температуры и осадков на середину XXI века, но к 90-ым гг. тенденция изменения температуры и осадков достигнет общероссийских значений (повышение температуры на 3 °С и увеличение количества осадков на 0,1 мм/сут). При этом можно заметить, что на конец XXI века увеличивается нормированный индекс уязвимости для северных регионов в сравнении с прогнозом на 50-е гг. (Мурманская и Архангельская области, Республики Коми, Карелия, Якутия, Красноярский край). Рекомендуется обратить внимание на реализацию мер адаптации в северных регионах нашей страны (в особенности, Чукотский и Ямало-Ненецкий автономные округа).

5. Заключение

В проведённой оценке уязвимости были обобщены имеющиеся научные данные в рамках предложенного методологического подхода, рассчитан нормированный и балльный индексы уязвимости лесов для всех субъектов Российской Федерации. На основе полученных значений были определены наиболее чувствительные субъекты РФ к рискам, вызванным климатическими изменениями, и, соответственно, нуждающиеся в планировании подходящих адаптационных мероприятий.

По результатам анализа, максимальное значение балльного индекса уязвимости (9 баллов) в ретроспективной оценке по всем 5 рискам определено в Новосибирской, Ивановской, Костромской областях, Республике Адыгея, Камчатском крае. По прогнозным показателям наиболее уязвимыми регионами к середине XXI века окажутся Камчатский край, Сахалинская область, Чукотский автономный округ, к концу века – Камчатский край и Чукотский автономный округ. Наименее значительными для лесов изменения климата к середине века будут в Забайкальском крае, Калужская области, Республике Мордовия, Рязанской области, и к концу века – в Иркутской, Магаданской, Смоленской областях и Республике Бурятия.

Своевременное проведение адаптационных мероприятий в лесном хозяйстве с учетом прогнозных значений при планировании позволит снизить ущерб от негативных проявлений изменения климата.

Список литературы

1. Росгидромет 2022 Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Научно-исследовательский институт лесного хозяйства. 124 с.
2. Константинов А В 2014 Методология оценки уязвимости лесного сектора экономики в условиях изменения климата. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства 3 С.73–77.
3. Липка О Н, Корзухин М Д и Замолодчиков М Г 2021 Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата. *Лесоведение*. 5 С. 531–546.
4. FAO 2018 A review of existing approaches and methods to assess climate change vulnerability of forests and forest-dependent people. Forestry Working Paper No. 5. Rome, FAO. 80 pp.
5. IPCC WGII Sixth Assessment Report 2022 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. 3676 с.
6. Timberlake T J and Schultz C A Climate Change Vulnerability Assessment for Forest Management: The Case of the U.S. Forest Service. *Forests*. 10(11):1030 DOI: 10.3390/f10111030
7. Климатический центр Росгидромета. Сценарные прогнозы на основе региональной модели. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/lf-hr>
8. Kai X, Wang X, Jiang C and Sun O J 2020 Assessing the vulnerability of ecosystems to climate change based on climate exposure, vegetation stability and productivity. *Forest Ecosystems*. 7:23.
9. [9]Прожерина Н А, Наквасина Е Н 2022 Изменение климата и его влияние на адаптацию и внутривидовую изменчивость хвойных пород Европейского севера России. *Известия вузов. Лесной журнал* 2 С. 9–25.
10. Byun J, Lee W-K, Choi S, Oh S, Yoo S, Kwon T, Sung J and Woo J 2012 Vulnerability Assessment for Forest Ecosystem to Climate Change Based on Spatio-temporal Information. *Korean Journal of Remote Sensing* 1(28) pp.159–169.
11. Исаев А С, Пальникова Е Н, Суховольский В Г и Тарасова О В 2015 Динамика численности лесных насекомых-филлофагов: модели и прогнозы. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 262 с.

References

1. Roshydromet 2022 Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary. St. Petersburg: Science-Intensive Technologies. 124 с.
2. Konstantinov A.V. 2014 Methodology of forest sector vulnerability assessment in the context of climate change. Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry 3 P.73-77.
3. Lipka O N, Korzukhin M D and Zamolodchikov M G 2021 The role of forests in the adaptation of natural systems to climate change. *Forest Science*. 5 С. 531-546.

4. FAO 2018 A review of existing approaches and methods to assess climate change vulnerability of forests and forest-dependent people. Forestry Working Paper No. 5. Rome, FAO. 80 pp.
5. IPCC WGII Sixth Assessment Report 2022 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. 3676 c.
6. Timberlake T J and Schultz C A Climate Change Vulnerability Assessment for Forest Management: The Case of the U.S. Forest Service. *Forests*. 10(11):1030 DOI: 10.3390/f10111030
7. Roshydromet Climate Center. Scenario forecasts based on the regional model. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/lf-hr>
8. Kai X, Wang X, Jiang C and Sun O J 2020 Assessing the vulnerability of ecosystems to climate change based on climate exposure, vegetation stability and productivity. *Forest Ecosystems*. 7:23.
9. Prozherina N A, Nakvasina E N 2022 Climate change and its impact on adaptation and intraspecific variability of conifers of the European North of Russia. *Izvestiya vuzov. Forest Journal* 2 P. 9-25.
10. Byun J, Lee W-K, Choi S, Oh S, Yoo S, Kwon T, Sung J and Woo J 2012 Vulnerability Assessment for Forest Ecosystem to Climate Change Based on Spatio-temporal Information. *Korean Journal of Remote Sensing* 1(28) pp.159–169.
11. Isaev A.S., Palnikova E.N., Sukhovolsky V.G. and Tarasova O.V. 2015 Population dynamics of forest phytophagous insects: models and forecasts. Moscow: KMC Scientific Publishers Association. 262 c.

**Парахневич Т.М., Кирик А.И.,
Попова В.Т., Трубицына М.П.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Благоустройство рекреационных зон на примере Воронежского центрального парка

Аннотация. В статье рассмотрена история Воронежского центрального парка. Рассмотрены природно-ресурсный потенциал парка, его структура и современное состояние. Среди существующих проблем главной является подтопление территории Центрального парка, происходящее в момент ливневых осадков. Причиной является недостаточная пропускная способность существующей системы водоотвода за территорию парка. Для исключения подтопления, в Центральном парке планируется устройство дополнительного водоприемного коллектора, а также дождеприемников в зоне парковки.

Ключевые слова: Центральный парк, Воронеж, рекреационная зона, подтопление территории.

**Parakhnevich T.M., Kirik A.I.,
Popova V.T., Trubitsyna M.P.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Improvement of recreational areas using an example of Voronezh Central Park

Abstract. The article examines the history of Voronezh Central Park. The natural resource potential of the park, its structure and current state are considered. Among the existing problems, the main one is the flooding of the territory of Central Park, which occurs during heavy rainfall. The reason is the insufficient capacity of the existing drainage system outside the park. To prevent flooding, it is planned to install an additional water intake collector in Central Park, as well as storm water inlets in the parking area.

Key words: Central Park, Voronezh, recreational area, flooding of the territory.

Воронеж является крупным промышленным центром с постоянно растущим населением, численность которого на 1 января 2023 года составила 1051995 человек. Возрастающая антропогенная нагрузка оказывает значительное влияние на экологическое состояние окружающей среды и здоровье городского населения. Поэтому, с каждым годом возрастает значение рекреационных зон и их благоустройства для полноценного отдыха, улучшения здоровья и повышения качества жизни населения.

Целью данной работы является изучение природно-ресурсного потенциала Воронежского центрального парка, выявление существующих проблем и изучение способов их решения.

Территория, где сейчас расположен Воронежский центральный парк, была окультурена более 170 лет назад. В 1844 г. по указанию будущего императора Александра II на месте парка был создан «Древесный питомник 3-го разряда» для выращивания разных пород деревьев, а также садовых и декоративных растений. В питомнике росло 3,5 тысячи образцов, поэтому горожане стали называть его Ботаническим садом. Уже к 1850 году питомник на картах Воронежа обозначался как «Ботанический сад».

В 1918-м советские власти передали питомник местному университету, а в 1929 году ему присвоили статус парка и имя Кагановича.

Во время боев за Воронеж в 1942-43 годах здесь проходила линия фронта, и шли ожесточенные бои. В 1947 г. был установлен «Памятник на месте боев Советской Армии с немецко-фашистскими оккупантами в 1942-1943гг. (Братская могила № 13)» где захоронено 165 защитников г. Воронежа. Памятник является объектом культурного наследия федерального значения и включен в Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры).

В мирное время парк восстановили. В 1957 году его переименовали в парк имени Горького.

Уже в 70-е годы вывеска сменилась на Центральный парк культуры и отдыха (ЦПКиО). К этому времени он вошел в состав Центрального района города Воронежа и стал любимым местом отдыха горожан и гостей города. На его территории регулярно проходили сельскохозяйственные выставки, ярмарки, народные гуляния и городские праздники, работали различные павильоны и кафе. Лыжная база обеспечивала всех желающих спортивным инвентарем в зимнее и летнее время. В парке работали аттракционы, с колеса обозрения открывалась красивая панорама города. В летнем театре проходили сотни концертов. Изюминкой парка всегда было озеро «Черномор», наполняемое родниковой водой.

В 1980-х годах была построена транспортная развязка к новому Северному мосту. Над нижней частью парка, над глубоким оврагом пролегла автомобильная эстакада, ведущая к улице Бурденко, которая кратчайшим путем соединила Северный мост и Коминтерновский район.

В 1986 году парк сильно затопило во время весеннего паводка. Средства на его восстановление отсутствовали, в связи с чем, он долгое время находился в заброшенном состоянии.

К 1990-м годам парк пришел в упадок: исчезло нижнее озеро с лодочной станцией, не стало многих аттракционов; были разрушены Зеленый театр и павильоны сельскохозяйственной выставки, которые сооружались в 1970-е годы.

Лишь в 2010 году ЦПКиО был включен в список объектов, запланированных к реконструкции. Капитальное обновление парка началось в 2014 году. Проект реконструкции, разработанный французским ландшафтным архитектором Оливье Даме и московской компанией «Мегапарк». При этом сохранилось историческое своеобразие старинного парка. Вместе с обновлением облика, парк сменил и название, выбранное самими горожанами, и стал именоваться «Воронежский центральный парк» [1, 2, 3].

Ниже представлена схема зонирования Воронежского центрального парка (рис. 1).



Рисунок 1. Схема Воронежского центрального парка [4]

В настоящее время парк занимает площадь более 100 га и имеет благоустроенный вид. Отреставрирована центральная аллея парка и Зеленый театр, созданы фонтаны, спортивные площадки, велодорожки, веревочный парк, аттракционы и т.д. (рис. 2, 3, 4).

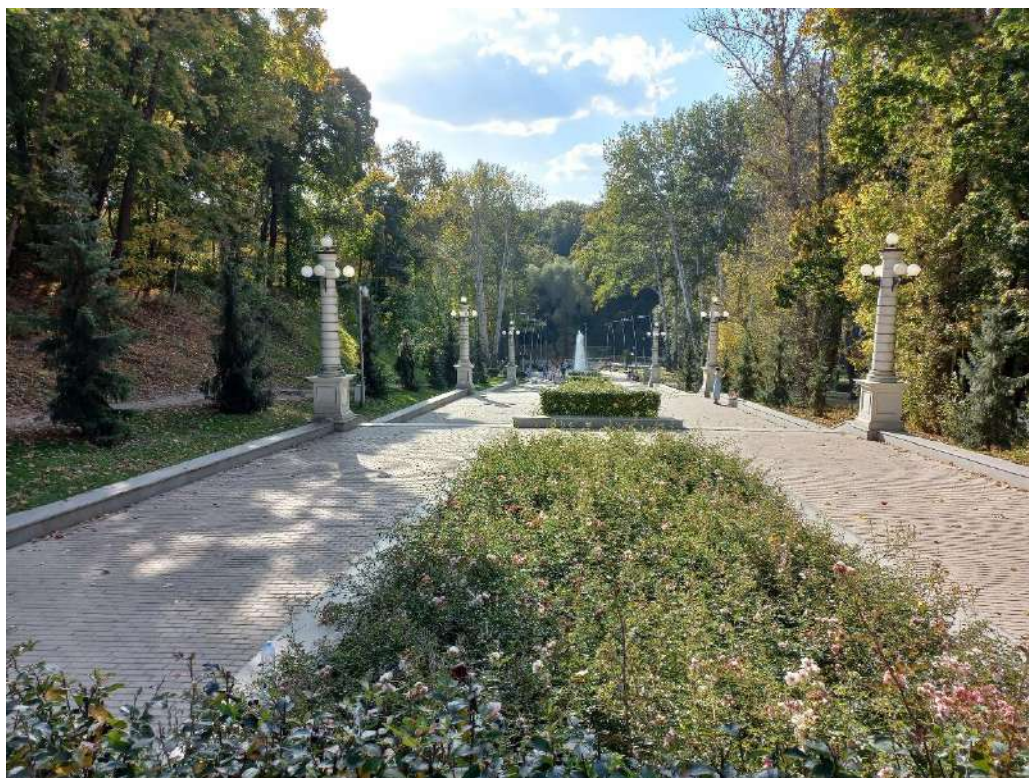


Рисунок 2. Аллея парка, ведущая к Зеленому театру



Рисунок 3. Вербочный парк



Рисунок 4. Зона аттракционов



Рисунок 5. Дренажная система парка

Центральный парк стал одним из основных мест проведения торжественных мероприятий: день Победы, Платоновский фестиваль, день города, фестиваль «Город-сад» и др.

Тем не менее, остается еще немало проблем, главной из которых является подтопление территории Центрального парка, происходящее в момент залповых осадков. Причиной является недостаточная пропускная способность существующей системы водоотвода из ручья Коровий Лог за территорию парка (рис. 5).

Поскольку Центральный парк расположен в низине, во время ливневых дождей с прилегающих территорий стекают потоки воды, что неоднократно приводило к его затоплению. Последнее значительное подтопление территории парка произошло 16 июня 2021 года. Ливень затопил аллею, пострадали ресторан и несколько торговых точек, машины на стоянке, скамейки, качели, тротуарная плитка и др. (рис. 6).



Рисунок 6. Подтопление территории Центрального парка [5]

На устранение последствий подтопления ушло несколько дней (рис. 7).



Рисунок 7. Последствия потопа [6]

Проблема усугубляется еще и тем, что территория вокруг парка застраивается. Почву, которая обладает впитывающей способностью, асфальтируют, что приводит к увеличению объемов, поступающей воды.

Для решения данной проблемы, в Воронеже 30 марта 2023 г. прошли общественные обсуждения проекта сети ливневой канализации. Для исключения подтопления в Центральном парке, проектной документацией предусмотрено устройство дополнительного водоприемного коллектора, который будет проложен через существующие автомобильную и железнодорожную дороги закрытым способом – методом микротоннелирования. Кроме того, планируется и установка дополнительныхждеприемников в зоне парковки [7].

Таким образом, в первую очередь, в Воронежском центральном парке необходимо: осуществлять мониторинг состояния ливневой канализации, проводить периодическую промывку водоотводящих сетей от различного мусора, разработать проект по усовершенствованию дренажной системы, реализация которого позволит снизить вероятность повторного подтопления территории парка.

Список литературы

1. История парка. Воронежский центральный парк. [Электронный ресурс]: <https://centralniy-parkvrn.ru/park/history/>
2. Центральный парк Культуры и Отдыха (парк «Динамо»). [Электронный ресурс]: <http://2vrn.ru/park-dinamo-voronezh.html>
3. Трубицына М.П. Выявление основных проблем рекреационных зон / М.П. Трубицына // Реабилитация жилого пространства горожанина: матер. XIX междунар. научно-практ. конф. им. В. Татлина / под общ. ред. Е.Г. Лапшиной. – Пенза: ПГУАС, 2023. – С. 495-499.

4. Карта парка. Воронежский центральный парк. [Электронный ресурс]: <https://centralniy-parkvrn.ru/map-park/?ysclid=lcda3cx1fp963907929>
5. Вести Воронеж. Затопленный Центральный парк в Воронеже временно закрыли. URL: <https://vestivrn.ru/news/2021/06/16/zatoplennyi-centralnyi-park-v-voronezhe-vremenno-zakryli/>
6. Парк «Динамо». Последствия потопа. URL: https://admin.moe-online.ru/media_new/1/7/4/9/1/0/6/dc65a4f261f61f44ae1e4ecc806cf4ac/MS6Vi9dZsXd7dS0zshDq7XeLdL8B8HSoHK9s1fjc-thumb_1280.jpg
7. Сайт администрации городского округа город Воронеж. [Электронный ресурс]: <https://www.voronezh-city.ru/communications/messages/detail/44474/>

References

1. The history of the park. Voronezh Central Park. [Electronic resource]: <https://centralniy-parkvrn.ru/park/history/>
2. Central Park of Culture and Recreation (Dynamo Park). [Electronic resource]: <http://2vrn.ru/park-dinamo-voronezh.html>
3. Trubitsyna M.P. Identification of the main problems of recreational zones / M.P. Trubitsyna // Rehabilitation of a citizen's living space: mater. XIX International Scientific and practical Conference named after V. Tatlin / under the general editorship of E.G. Lapshina. – Penza: PGUAS, 2023. – pp. 495-499.
4. Map of the park. Voronezh Central Park. [Electronic resource]: <https://centralniy-parkvrn.ru/map-park/?ysclid=lcda3cx1fp963907929>
5. Vesti Voronezh. The flooded Central Park in Voronezh was temporarily closed. [Electronic resource]: <https://vestivrn.ru/news/2021/06/16/zatoplennyi-centralnyi-park-v-voronezhe-vremenno-zakryli/>
6. Dynamo Park. Consequences of the flood. [Electronic resource]: https://admin.moe-online.ru/media_new/1/7/4/9/1/0/6/dc65a4f261f61f44ae1e4ecc806cf4ac/MS6Vi9dZsXd7dS0zshDq7XeLdL8B8HSoHK9s1fjc-thumb_1280.jpg
7. Website of the Voronezh City District Administration. [Electronic resource]: <https://www.voronezh-city.ru/communications/messages/detail/44474/>

Платонов А.А.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Обоснование форм и размеров учетных площадок контроля работ по удалению поросли в охранных зонах линий электропередачи

Аннотация. При натурном обследовании трасс высоковольтных линий электропередачи на предмет выявления произрастающей нежелательной растительности большое влияние на результат обследования оказывает форма и размеры применяемых учетных площадок. В статье рассматриваются некоторые аспекты оптимизации геометрических размеров и формы учетных площадок, формулируется вывод о целесообразности их применения в зависимости от характеристик исследуемого участка трассы ВЛ.

Ключевые слова: нежелательная растительность, линия электропередачи, обследование, учетная площадка, характеристики, моделирование.

Platonov A.A.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Justification of the shapes and sizes of registration sites for monitoring the removal of overgrowth in the security zones of power lines

Abstract. During a full-scale survey of high-voltage power lines to identify growing undesirable vegetation, the shape and size of the accounting sites used have a great influence on the result of the survey. The article discusses some aspects of optimizing the geometric dimensions and shape of accounting areas, formulates a conclusion about the feasibility of their use, depending on the characteristics of the studied section of the overhead line route.

Key words: unwanted vegetation, power line, survey, accounting site, characteristics, modeling.

1. Введение

При выявлении качественных и количественных характеристик нежелательной древесно-кустарниковой растительности, произрастающей на территориях ряда инфраструктурных объектов [1, 2], большое влияние на результат обследования оказывает выбранный метод. Одним из традиционных

методов, основанном на подсчёте экземпляров растительности, попавшим внутрь выделенной при исследовании контрольной площади, является метод учётных площадок [3]. Указанный метод, несмотря на его относительную трудоёмкость и необходимость выполнения ряда предварительных условий, позволяет, тем не менее, обеспечивать в настоящее время приемлемую точность получаемых результатов [4]. Выполненными нами исследованиями, проведёнными в течение весенне-осеннего сезона 2021 г. было установлено, что метод учётных площадок допустим к применению и при выявлении степени зарастания нежелательной древесно-кустарниковой растительностью охранных зон высоковольтных линий (ВЛ) электропередачи (рис. 1).

Принимая во внимание линейную протяжённость такого инфраструктурного объекта, как трассы ВЛ, а также то, что произрастание нежелательной древесно-кустарниковой растительности (НДКР) принципиально невозможно в местах, занятыми столбами линий электропередачи (ЛЭП) нам представляется целесообразным исследовать возможность учёта характеристик произрастающей НДКР по периодически чередующимся (с шагом расположения опор ЛЭП) указанным местам, размеры которых зависят в целом от геометрических характеристик данных опор.



а) б) в)

Рисунок 1. Нежелательная поросль, произрастающая в охранных зонах трасс ВЛ

а) ПС Комплекс - ПС Медвежье, август 2021 г.

б) ПС Истобное - ПС Ледовое, июнь 2021 г.

в) Курская АЭС - ПС Железнодорожная, август 2021 г.

2. Материалы и методы

Осуществим обоснование формы и размеров учётных площадок, закладываемых на территориях охранных зон высоковольтных линий электропередачи.

Принимая во внимание выполненную в [5] классификацию линий электропередачи нами для обоснования формы и размеров учётных площадок, закладываемых на территориях охранных зон ЛЭП, рассматривались воздушные линии электропередачи (трассы ВЛ) высоковольтного переменного трёхфазного тока различной топологии и назначения, проходящие по ненаселённой

доступной и труднодоступной местности в районах тайги, широколиственных лесов, лесостепных и степных зонах.

Учитывая рассмотренную в [6] классификацию опор линий электропередачи нами для обоснования формы и размеров учётных площадок, закладываемых на территориях охранных зон ЛЭП [7], рассматривались одно-, двух- и многоцепные свobodностоящие деревянные, железобетонные и металлические опоры ЛЭП различного способа изготовления и технологического назначения, устанавливаемые без- или на фундамент [8, 9].

3. Результаты и их обсуждение

Теоретическая площадь произрастания НДКР в охранной зоне трасс ВЛ, а также в зоне между крайними (наиболее удалёнными от срединной линии трассы ВЛ) проводами, ограничена лишь шириной указанных зон и протяжённостью трасс ВЛ, ввиду чего нам представляется целесообразным определение характеристик НДКР по учётным площадкам площадью $S_{уп оз}^{ндкр} = 1 \text{ м}^2$ или $S_{уп оз}^{ндкр} = 2 \text{ м}^2$ ряда рациональных (как обеспечивающих возможность несложного изготовления и удобного применения) форм, а именно: круглой, квадратной или прямоугольной со следующими их геометрическими характеристиками (рис. 2):

– для круглой учётной площадки радиус $R_{уп оз} = 0,564 \text{ м}$ и $0,797 \text{ м}$ (соответственно при $S_{уп оз}^{ндкр} = 1 \text{ м}^2$ и 2 м^2);

– для квадратной учётной площадки размер стороны $l_{уп оз} = 1,0 \text{ м}$ и $1,414 \text{ м}$ (соответственно при $S_{уп оз}^{ндкр} = 1 \text{ м}^2$ и 2 м^2).

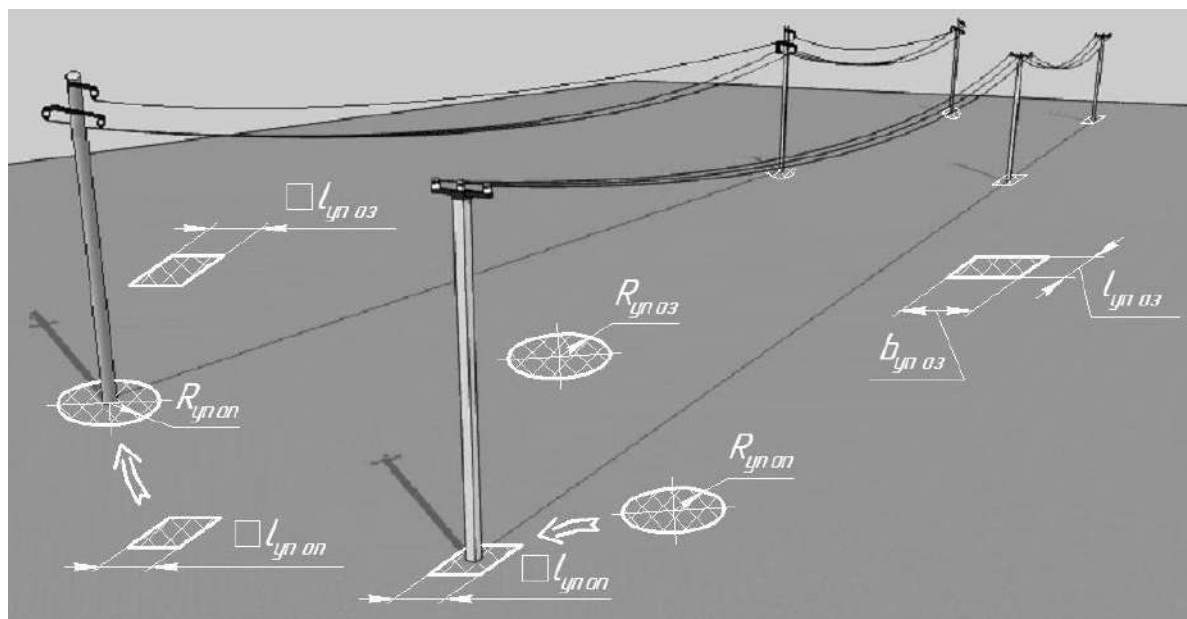


Рисунок 2. Геометрические характеристики учётных площадок при выявлении параметров растительности в охранной зоне трасс ВЛ

С целью унификации размеров учётных площадок с размерами, рекомендованными нами для обследования полос отвода железных дорог, при

выявлении качественных и количественных характеристик произрастающей НДКР для прямоугольной учётной площадки целесообразно принять размеры сторон $l_{уп\ оз} \times b_{уп\ оз} = 0,692 \times 1,445$ м и $1,384 \times 1,445$ м (соответственно при $S_{уп\ оз}^{ндкр} = 1$ м² и 2 м²).

Однако, выявление качественных и количественных характеристик произрастающей НДКР в зонах, непосредственно примыкающих к опорам ЛЭП, нередко сопряжено с определёнными трудностями, среди которых можно выделить следующие:

- частичное или полное зарастание опоры ЛЭП нежелательной растительностью, величина и густота произрастания которой затрудняет не только идентификацию растительности, но и самой опоры (рис. 1, в);
- невозможность организации учётных площадок с геометрическими характеристиками, принятыми для основной части охранной зоны трасс ВЛ (а также зоны между крайними проводами), ввиду использования части учётной площадки под непосредственное размещение опоры.

Компенсация уменьшения величины площади учётной площадки под размещение опоры ЛЭП может быть выполнена соразмерным увеличением указанной площади на величину поперечного сечения соответствующей опоры. При этом анализ геометрических характеристик опор высоковольтных линий электропередачи [6] позволил установить, что несмотря на относительное многообразие размеров опор ВЛ, в подавляющем большинстве случаев форма поперечных сечений указанных опор может быть представлена в виде прямоугольника (рис. 3, а; с частным случаем в виде квадрата) и круга (рис. 3, б). Учитывая вышеизложенное, нам представляется целесообразным при определении характеристик НДКР вокруг опор ЛЭП применять учётные площадки площадью $S_{уп\ оп}^{ндкр} = 1$ м² ряда рациональных (а именно, круглой, рис. 3, в, и квадратной, рис. 3, г) форм со следующими возможными сочетаниями форм поперечных сечений опор ЛЭП и учётных площадок: круглая площадка + прямоугольное сечение опоры, квадратная площадка + прямоугольное сечение опоры, круглая площадка + круглое сечение опоры, квадратная площадка + круглое сечение опоры.

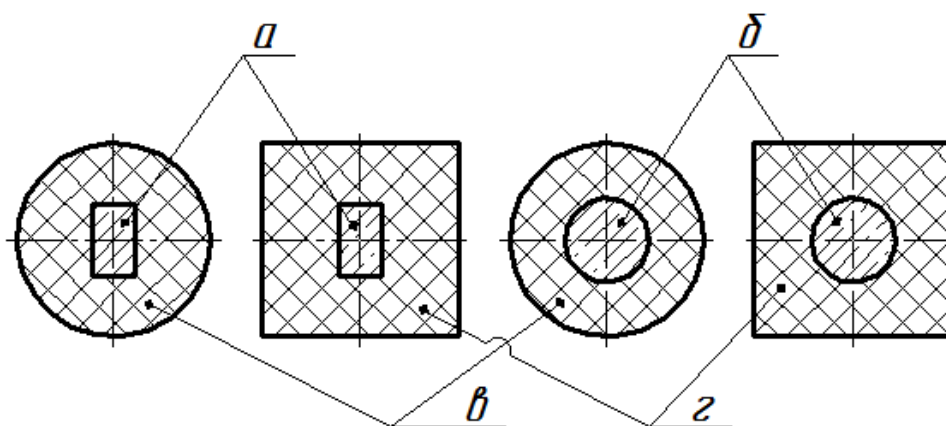


Рисунок 3. Сочетания форм поперечных сечений опор ЛЭП и учётных площадок

Для сочетания «круглая площадка + прямоугольное сечение опоры» радиус учётной площадки $R_{yn\ on}$ будет определяться из формулы площади круга ($S = \pi \cdot R^2$, где R – радиус круга) в зависимости от площади поперечного сечения опоры следующим образом:

$$R_{yn\ on} = \sqrt{\frac{S_{yn\ on}^{ндкр} + a_{on} \cdot b_{on}}{\pi}}, \text{ м} \quad (1)$$

где a_{on} и b_{on} – длина и ширина поперечного сечения соответствующей опоры ЛЭП на поверхности грунта, м. Для железобетонных забивных свай и грибовидных фундаментов квадратного поперечного сечения размеры длины и ширины принимаются одинаковыми.

Для сочетания «круглая площадка + круглое сечение опоры» радиус учётной площадки будет определяться из формулы площади кольца ($S = \pi \cdot (R^2 - r^2)$, где R и r – соответственно наружный и внутренний радиусы кольца) следующим образом:

$$R_{yn\ on} = \sqrt{\frac{S_{yn\ on}^{ндкр}}{\pi} + \frac{D_{on}^2}{4}}, \text{ м} \quad (2)$$

где D_{on} – диаметр опоры ЛЭП на поверхности грунта, м. Для свайных фундаментов в качестве диаметра опоры принимается наружный диаметр трубы сваи.

Для сочетания «квадратная площадка + прямоугольное сечение опоры» длина стороны учётной площадки $l_{yn\ on}$ будет определяться в зависимости от площади поперечного сечения опоры следующим образом:

$$l_{yn\ on} = \sqrt{S_{yn\ on}^{ндкр} + a_{on} \cdot b_{on}}, \text{ м} \quad (3)$$

Для сочетания «квадратная площадка + круглое сечение» длина стороны учётной площадки будет определяться в зависимости от площади поперечного сечения опоры следующим образом:

$$l_{yn\ on} = \sqrt{S_{yn\ on}^{ндкр} + \pi \cdot \frac{D_{on}^2}{4}}, \text{ м} \quad (4)$$

Для более компактного представления получаемых размеров учётных площадок сгруппируем опоры ЛЭП по форме их поперечного сечения и основному материалу для их изготовления.

Принимая во внимание величины минимального диаметра деревянной опоры в месте её заделки в грунт (на расстоянии 1500 мм от нижнего торца), диаметров стальных винтовых и забивных свай, диаметров железобетонных опор ЛЭП и размеров поперечного сечения железобетонных вибрированных стоек, приведение которых не входят в цели и задачи данной статьи, получим следующие значения размеров учётных площадок (табл. 1...4).

Таблица 1 – Размеры учётных площадок при определении характеристик НДСР вокруг стальных свай опор ЛЭП

Диаметр сваи опоры ЛЭП d , м	0,168	0,219	0,325	0,530	0,720
Круглая учётная площадка: радиус $R_{упон}$, м	0,57	0,575	0,587	0,623	0,669
Квадратная учётная площадка: длина стороны $l_{упон}$, м	1,011	1,019	1,041	1,105	1,186

Таблица 2 – Размеры учётных площадок при определении характеристик НДСР вокруг деревянных опор ЛЭП

Диаметр опоры ЛЭП $D_{он}$, м	Круглая учётная площадка: радиус $R_{упон}$, м	Квадратная учётная площадка: длина стороны $l_{упон}$, м	Диаметр опоры ЛЭП $D_{он}$, м	Круглая учётная площадка: радиус $R_{упон}$, м	Квадратная учётная площадка: длина стороны $l_{упон}$, м
0,140	0,569	1,008	0,215	0,574	1,018
0,160	0,57	1,010	0,220	0,575	1,019
0,170	0,571	1,011	0,225	0,575	1,020
0,180	0,571	1,013	0,230	0,576	1,021
0,190	0,572	1,014	0,235	0,576	1,021
0,195	0,573	1,015	0,240	0,577	1,022
0,200	0,573	1,016	0,245	0,577	1,023
0,210	0,574	1,017	0,250	0,578	1,024

Таблица 3 – Размеры учётных площадок при определении характеристик НДСР вокруг железобетонных цилиндрических и конических опор ЛЭП

Диаметр опоры ЛЭП $D_{он}$, м	0,560	0,650	0,800
Круглая учётная площадка: радиус $R_{упон}$, м	0,63	0,651	0,692
Квадратная учётная площадка: длина стороны $l_{упон}$, м	1,116	1,154	1,226

Таблица 4 – Размеры учётных площадок при определении характеристик НДКР вокруг железобетонных вибрированных стоек

Размеры поперечного сечения опоры ЛЭП $t \times s$, м	0,245×	0,240×	0,265×	0,280×	0,280×	0,380×
	0,175	0,165	0,185	0,205	0,185	0,390
Круглая учётная площадка: радиус $R_{yn on}$, м	0,576	0,575	0,577	0,580	0,578	0,605
Квадратная учётная площадка: длина стороны $l_{yn on}$, м	1,021	1,019	1,024	1,028	1,025	1,072

Исходя из значений размеров поперечного сечения железобетонных забивных свай (0,25×0,25 м и 0,35×0,35 м), получим для круглой учётной площадки величину её радиуса $R_{yn on}$ соответственно 0,582 и 0,598 м, для квадратной учётной площадки длину её стороны $l_{yn on}$ соответственно 1,031 и 1,059 м.

Основываясь на значениях размеров поперечного сечения железобетонных вертикальных и наклонных грибовидных фундаментов (0,4×0,4 м) получим для круглой учётной площадки величину её радиуса $R_{yn on} = 0,608$ м, для квадратной учётной площадки длину её стороны $l_{yn on} = 1,077$ м.

4. Заключение

С учётом вышеизложенного, можно сделать следующий вывод.

Для исследования характеристик произрастающей в охранных зонах трасс ВЛ нежелательной древесно-кустарниковой растительности целесообразно применять метод учётных площадок, при этом в зависимости от геометрических характеристик опор ЛЭП форма и (особенно) размеры данных учётных площадок варьируются в достаточно широких пределах.

Список литературы

1. Анисимова, Е.Ю. Способы борьбы с древесно-кустарниковой растительностью в охранной зоне линейной части трубопроводов / Е.Ю. Анисимова // Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы. – Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2019. – С. 248-251.
2. Платонов, А.А. Вариативность технологических процессов удаления нежелательной растительности по территориям линейных инфраструктурных объектов / А.А. Платонов // В сборнике: Перспективы транспортной отрасли. Труды 1-й международной научно-практической конференции. Воронеж, 2021. С. 106-112.
3. Лесное ресурсоведение: учеб. пособие / А.И. Жукова, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева, А.С. Ледяева; под ред. В.И. Пятакина. – СПб: Издательство СПбГЛТА, 2008. – 215 с.

4. Биоразнообразие и охрана природы: учебник / Е.С. Иванов, А.С. Чердакова, Е.А. Лупанов, В.А. Марков. – М: Издательство Юрайт, 2020. – 247 с.
5. Платонов, А.А. Классификация линейных инфраструктурных объектов: линии электропередачи / А.А. Платонов // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2023. – № 1(11). – С. 14-22.
6. Платонов, А.А. Обоснование классификационных признаков опор линий электропередачи как объектов произрастания поросли / А.А. Платонов // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2022»). Труды международной научно-практической конференции. Сер. «Теоретические и практические вопросы транспорта» Воронеж, 2022. С. 125-133.
7. Платонов, А.А. О местах воздействия на нежелательную растительность при её удалении с территорий транспортных инфраструктур / А.А. Платонов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XVII Международной научно-технической конференции, Вологда, 03 декабря 2019 года / Ответственный редактор Ю.М. Авдеев. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2019. – С. 216-218.
8. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. Раздел 2. Передача электроэнергии: утв. Приказом Минэнерго России от 20.05.2003 г. № 187.
9. СТО 56947007- 29.120.95-049-2010 Нормы проектирования поверхностных фундаментов для опор ВЛ и ПС. – М: ОАО «ФСК КЭС», 2010. – 31 с.

References

1. Anisimova, E.Yu. Methods of combating tree and shrub vegetation in the security zone of the linear part of pipelines / E.Yu. Anisimova // Science, technology, industrial production: history, current state, prospects. – Vladivostok: FEFU Publishing House, 2019. – pp. 248-251.
2. Platonov, A.A. Variability of technological processes for removing unwanted vegetation across the territories of linear infrastructure facilities / A.A. Platonov // In the collection: Prospects of the transport industry. Proceedings of the 1st international scientific and practical conference. Voronezh, 2021. pp. 106-112.
3. Forest resource science: textbook. allowance / A.I. Zhukova, I.V. Grigoriev, O.I. Grigorieva, A.S. Ledyeva; edited by V.I. Patyakin. – St. Petersburg: SPbGLTA Publishing House, 2008. – 215 p.
4. Biodiversity and nature conservation: textbook / E.S. Ivanov, A.S. Cherdakova, E.A. Lupanov, V.A. Markov. – М: Yurayt Publishing House, 2020. – 247 p.
5. Platonov, A.A. Classification of linear infrastructure facilities: power lines / A.A. Platonov // Current problems of modern transport. – 2023. – № 1(11). – pp. 14-22.
6. Platonov, A.A. Justification of the classification characteristics of power transmission line supports as objects of shoot growth / A.A. Platonov // Transport: science, education, production («Transport-2022»). Proceedings of the international scientific and practical conference. Ser. «Theoretical and practical issues of transport» Voronezh, 2022. pp. 125-133.

7. Platonov, A.A. On the places of impact on unwanted vegetation when removing it from the territories of transport infrastructures / A.A. Platonov // Current problems of development of the forestry complex: Materials of the XVII International Scientific and Technical Conference, Vologda, December 3, 2019 / Executive editor Yu.M. Avdeev. – Vologda: Vologda State University, 2019. – pp. 216-218.
8. Rules for the construction of electrical installations (PUE). Seventh edition. Section 2. Electricity transmission: approved. By Order of the Ministry of Energy of Russia dated May 20, 2003 № 187.
9. STO 56947007-29.120.95-049-2010 Design standards for surface foundations for overhead line and substation supports. – M: JSC «FGC IES», 2010. – 31 p.

Платонов А.А.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Встречаемость видов нежелательной растительности в полосах отвода железных дорог и охранных зонах трасс ВЛ Центральной России

Аннотация. Выполнение работ по удалению нежелательной растительности с территорий ряда инфраструктурных объектов нередко осложняется отсутствием сведений о наиболее часто встречающихся видах указанной растительности. В работе рассматриваются результаты исследования встречаемости произрастающей по территориям линейных инфраструктурных объектов древесно-кустарниковой растительности. Выявлено, что чаще всего на участках полос отвода железных дорог центральной части России может быть выявлен клён ясенелистный и вяз приземистый, на участках охранных зон линий электропередачи – клён ясенелистный и вяз гладкий. Сделан вывод о наиболее часто произрастающих видах нежелательной растительности по территориям указанных объектов.

Ключевые слова: нежелательная растительность, виды, выявление, распределение, произрастание.

Platonov A.A.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Occurrence of undesirable vegetation types in railway right of way and security zones of overhead power lines in Central Russia

Abstract. Carrying out work to remove unwanted vegetation from the territories of a number of infrastructure facilities is often complicated by the lack of information about the most common types of said vegetation. The paper discusses the results of a study of the occurrence of tree and shrub vegetation growing in the territories of linear infrastructure facilities. It was revealed that most often in sections of the railway right-of-way in the Central part of Russia, Ash-leaved maple and Smooth elm can be identified, in sections of security zones of power lines - Ash-leaved maple and Smooth elm. A conclusion is drawn about the most frequently growing types of unwanted vegetation in the territories of these objects.

Key words: unwanted vegetation, types, identification, distribution, growth.

Введение

Выполнение работ по удалению нежелательной растительности с территорий ряда инфраструктурных объектов [1-3] нередко осложняется отсутствием сведений о наиболее часто встречающихся видах указанной растительности [4].

Такая ситуация нередко приводит к тому, что организаторы работ по плановому (в ряде случаев – непериодическому) воздействию на нежелательную (преимущественно – древесно-кустарниковую) растительность [5, 6] не представляют всего характера и, самое главное, последствий такого воздействия. Неправильный и не оптимальный выбор системы машин, механизмов и оборудования приведёт к низкому качеству удаления рассматриваемой растительности с территорий инфраструктурных объектов и необходимости организации аналогичных работ с незапланированными затратами на их выполнение.

Целью настоящего исследования является выявление наиболее ожидаемых к произрастанию видов нежелательной древесно-кустарниковой растительности, произрастающей на ряде инфраструктурных объектов Центральной России.

Материалы и методы

Для исследования встречаемости произрастающей по территориям ЛИО НДКР был выбран метод учётных площадок. В качестве учётной единицы использовали площадки постоянных размеров (для трасс ВЛ – квадратные, внутренней «полезной» площадью $S = 1 \text{ м}^2$; для полос отвода железных дорог – прямоугольные, площадью $S = 0.5, 1.0$ и 2.0 м^2). Все работы проводились в соответствии с классическими (ОСТ 56-69-83) требованиями к таксационно-лесоводственным исследованиям, а также действующими нормативными материалами в части безопасности выполнения работ на объектах инфраструктуры. На каждой учётной площадке методом сплошного пересчёта определяли количество экземпляров НДКР и её видовую принадлежность.

Видовая принадлежность выявлялась по различным определителям древесно-кустарниковой растительности (например, [7]), в отдельных случаях экземпляры нежелательной растительности фотографировались (общий вид, листовая пластинка с двух сторон и верхушка побега, рис. 1), в том числе – оформлялись в виде гербария.

Результаты и их обсуждение

Анализ распределения встречаемости видов нежелательной древесно-кустарниковой растительности [8, 9], произрастающей в полосах отвода железных дорог, полученное нами с учётом фактического наличия хотя бы одного вида НДКР на той или иной учётной площадке, выявленного в ходе натурного обследования вышеуказанных территорий, позволил установить следующее (рис. 2).



Рисунок 1. Фотофиксация нежелательной растительности для последующего определения её видовой принадлежности

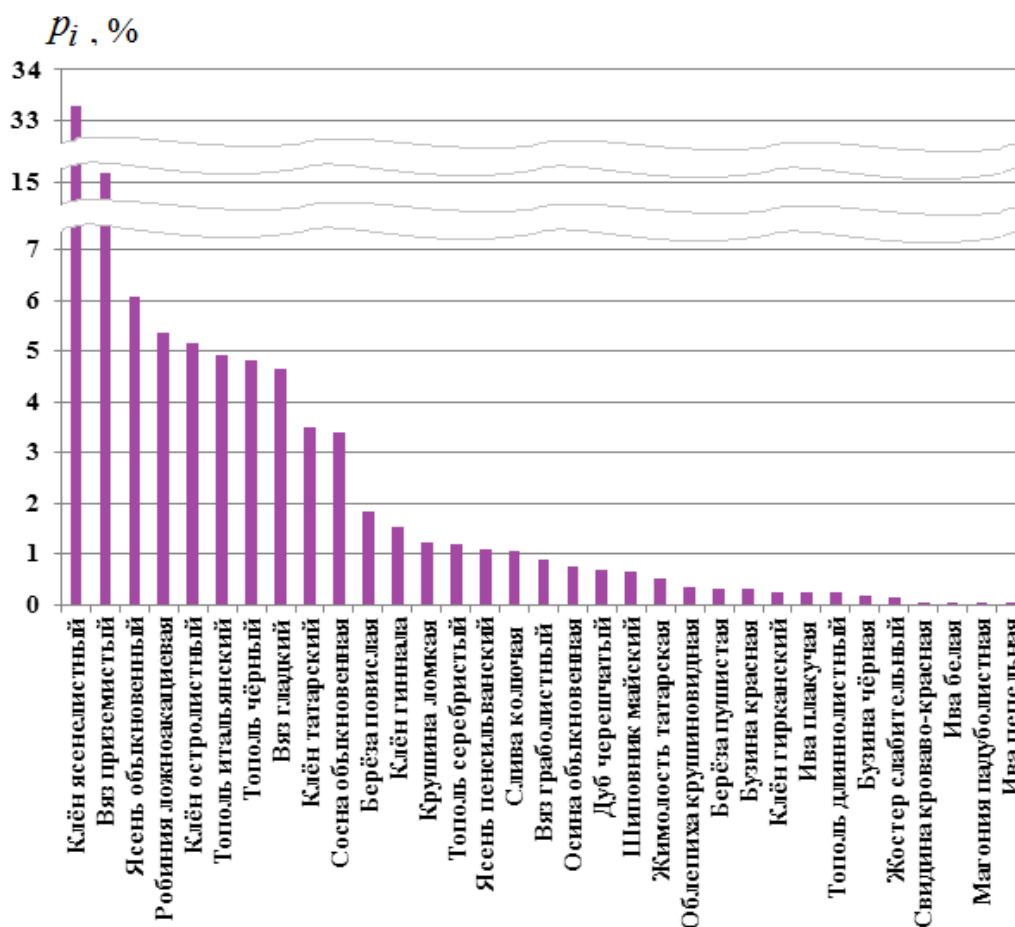


Рисунок 2. Распределение встречаемости видов нежелательной растительности, произрастающей в полосах отвода железных дорог

Чаще всего на участках полос отвода железных дорог Центральной части России может быть выявлен Клён ясенелистный (встречаемость вида $p_i \approx 33\%$ на всех занятых растительностью участках) и Вяз приземистый ($p_i \approx 15\%$). Встречаемость $p_i \approx 3...6\%$ присуща для территорий вышеуказанных участков целой группе видов НДКР, а именно: Ясень обыкновенный, Робиния ложноакациевая, Клён остролистный, Тополь итальянский, Тополь чёрный, Вяз гладкий, Клён татарский и Сосна обыкновенная. Полученные данные

практически полностью копируют распределение доминирования видов нежелательной растительности (рис.) за исключением Робинии ложноакациевой, индекс доминирования которой ($D_{PK} = 0,2696$) меньше аналогичного параметра для Клёна остролистного ($D_{PK} = 0,2734$), а встречаемость – больше (соответственно, $p_i = 5,3662$ и $p_i = 5,1769$).

Следует при этом отметить, что столь большая величина индекса доминирования вида Робиния ложноакациевая была получена фактически за счёт лишь одного участка (а именно: Белгород – Нежеголь (1)), где указанный вид являлся доминантным ($D_{PK} = 6,8631$), при этом указанный вид был выявлен нами лишь на нескольких ($N_{ндкр}^s = 3$) участках полос отвода железных дорог (рис. 3) при весьма небольших индексах доминирования рассматриваемого вида (Разъезд 239 км – Шилово (2), $D_{PK} = 0,0204$; Готня – Белгород (2), $D_{PK} = 0,1129$).



Рисунок 3. Робиния ложноакациевая, произрастающая в полосах отвода железных дорог

а) Белгород – Нежеголь; б) Готня – Белгород

Отмечая относительное обилие выявленных нами произрастающих на территориях полос отвода железных дорог видов нежелательной растительности, нами, с целью обоснования рекомендаций по более эффективному распределению усилий удаления НДКР с указанных территорий, была построена диаграмма Парето по характеристике встречаемости p_i нежелательной растительности. Указанная диаграмма позволила выявить, что в целом вышеуказанные виды нежелательной растительности «обеспечивают» суммарную встречаемость на уровне $p_i = 86.2767\%$, а это весьма близко к характерной величине диаграммы Парето в 80% (рис. 4).

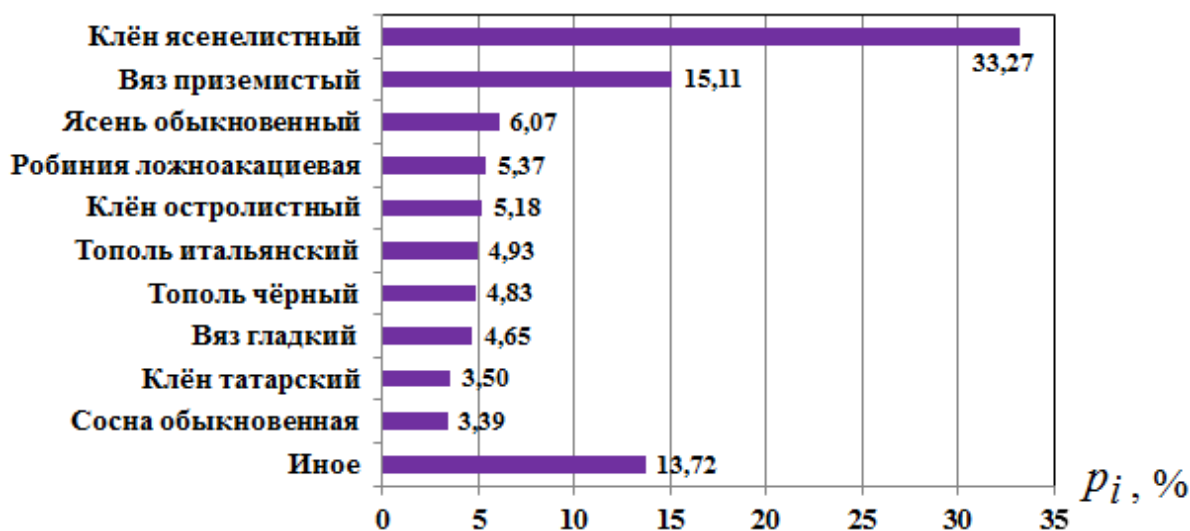


Рисунок 4. Распределение 80% встречаемости видов нежелательной растительности, произрастающей в полосах отвода железных дорог

Учитывая данные о количестве участков полос отвода железных дорог, на которых был выявлен вид Робиния ложноакациевая, нам представляется возможным сделать следующий вывод: в полосах отвода железных дорог в большей степени следует ожидать произрастания следующих видов нежелательной древесно-кустарниковой растительности (в порядке убывания их встречаемости и доминирования): Клён ясенелистный, Вяз приземистый, Ясень обыкновенный, Клён остролистный, Тополь итальянский, Тополь чёрный, Вяз гладкий, Клён татарский и Сосна обыкновенная.

Анализ распределения встречаемости видов нежелательной древесно-кустарниковой растительности, произрастающей в охранных зонах линий электропередачи, полученное нами с учётом фактического наличия хотя бы одного вида НДКР на той или иной учётной площадке, выявленного в ходе натурного обследования вышеуказанных территорий, позволил установить следующее (рис. 5).

Чаще всего на участках охранных зон линий электропередачи Центральной части России может быть выявлен Клён ясенелистный (встречаемость вида $p_i \approx 25\%$ на всех занятых растительностью участках) и Вяз гладкий ($p_i \approx 19\%$). Встречаемость $p_i \approx 8...9\%$ присуща для территорий вышеуказанных участков таким видам НДКР, как шиповник майский и слива колючая. Встречаемость $p_i \approx 4...5\%$ присуща для территорий вышеуказанных участков целой группе видов НДКР, а именно: ясень обыкновенный, клён татарский, жимолость татарская и берёза повислая.

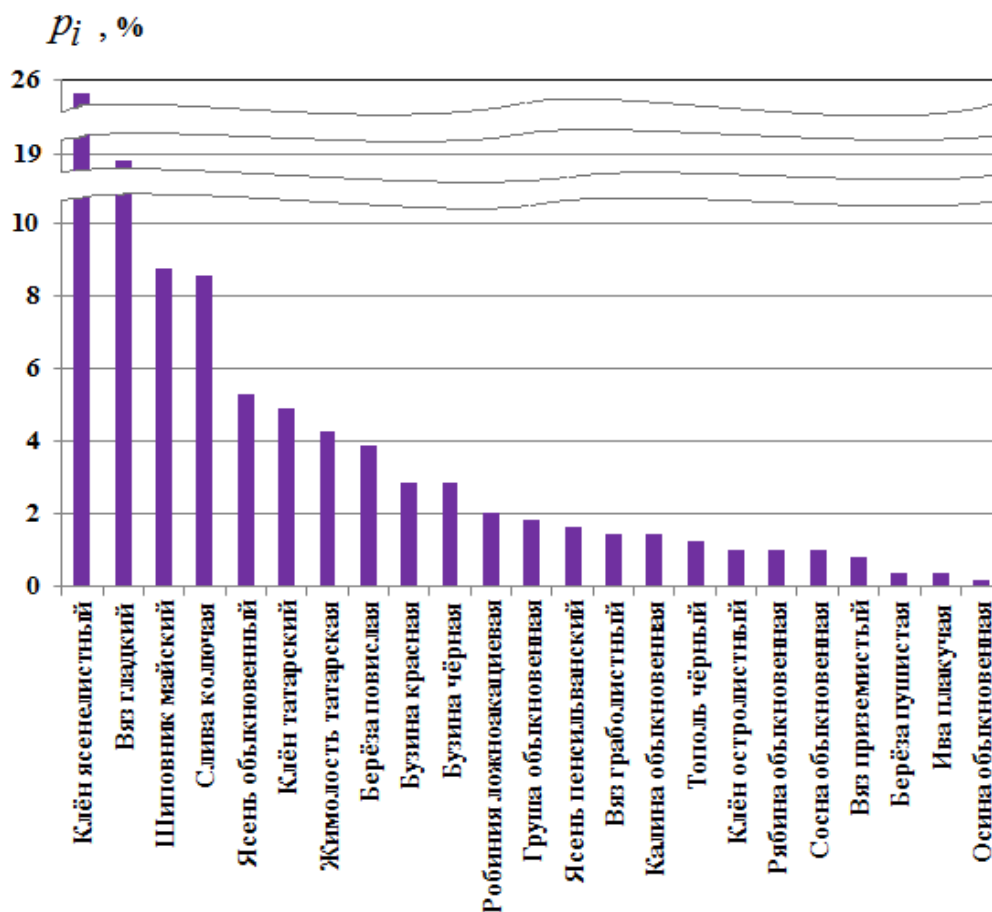


Рисунок 5. Распределение встречаемости видов нежелательной растительности, произрастающей в охранных зонах линий электропередачи

Полученные данные практически полностью копируют распределение доминирования видов нежелательной растительности за исключением шиповника майского, индекс доминирования которого ($D_{PK} = 0,6265$) меньше аналогичного параметра для сливы колючей ($D_{PK} = 0,6731$), а встречаемость – больше (соответственно, $p_i = 8,7398$ и $p_i = 8,5365$).

Следует при этом отметить, что встречаемость вида берёза повислая ($p_i = 3,86\%$) была получена фактически за счёт лишь одного участка (а именно: ПС Новая – ПС Южная, рис. 6), где указанный вид являлся доминантным ($D_{PK} = 9,2995$), при этом указанный вид был выявлен нами лишь на нескольких ($N_{ндкр}^s = 3$) участках охранных зон линий электропередачи при весьма небольших индексах доминирования рассматриваемого вида (в частности, ПС Восточная – ПС Земснаряд, $D_{PK} = 0,7518$).

Учитывая обилие выявленных нами произрастающих на территориях охранных зон линий электропередачи видов нежелательной растительности, нами, с целью обоснования рекомендаций по более эффективному распределению усилий удаления НДКР с указанных территорий, была построена

диаграмма Парето по характеристике встречаемости p_i нежелательной растительности.



Рисунок 6. Берёза повислая, произрастающая в охранной зоне линии электропередачи ПС Новая – ПС Южная

Указанная диаграмма позволила выявить, что в целом вышеуказанные виды нежелательной растительности «обеспечивают» суммарную встречаемость на уровне $p_i = 79,8781\%$, а это весьма близко к характерной величине диаграммы Парето в 80% (рис. 7).

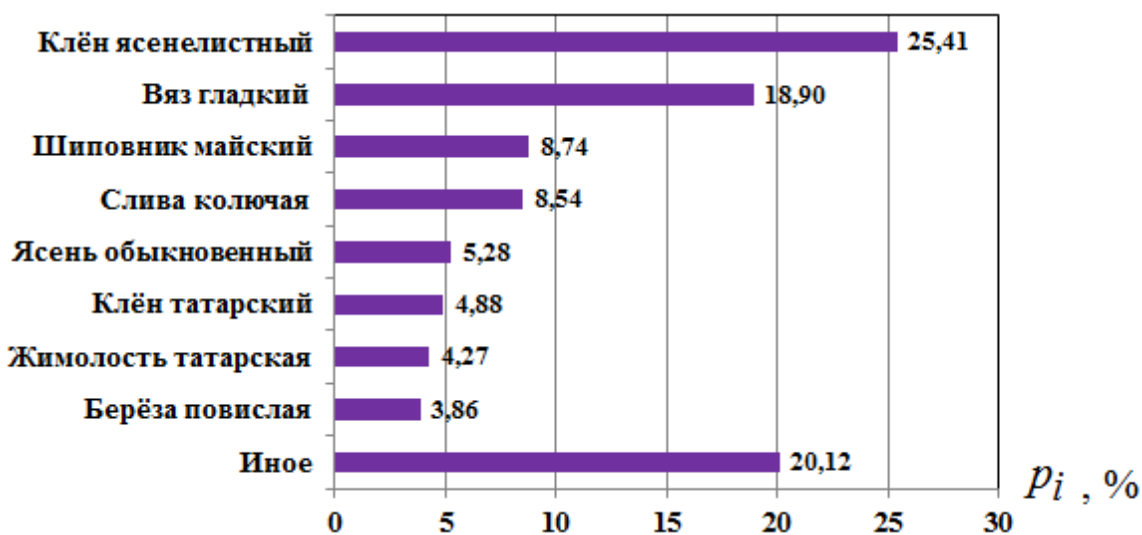


Рисунок 7. Распределение 80% встречаемости видов нежелательной растительности, произрастающей в охранных зонах линий электропередачи

Учитывая данные о количестве участков охранных зон линий электропередачи, на которых был выявлен вид Берёза повислая, нам представляется возможным сделать следующий вывод: в охранных зонах линий электропередачи в большей степени следует ожидать произрастания следующих

видов нежелательной древесно-кустарниковой растительности (в порядке убывания их встречаемости и доминирования): Клён ясенелистный, Вяз гладкий, Шиповник майский, Слива колючая, Ясень обыкновенный, Клён татарский, Жимолость татарская.

Заключение

Выполненными исследованиями были установлены наиболее ожидаемые к произрастанию виды нежелательной древесно-кустарниковой растительности, что позволяет организаторам работ по приведению охранных зон трасс ВЛ и полос отвода железных дорог в нормативное состояние более обоснованно подходить к выбору системы машин, механизмов и оборудования.

Список литературы

1. Анисимова, Е.Ю. Способы борьбы с древесно-кустарниковой растительностью в охранной зоне линейной части трубопроводов / Е.Ю. Анисимова // Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы. – Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2019. – С. 248-251.
2. Содержание и защита от растительности полосы отвода автомобильной дороги / Г.Г. Багдасарян, А.А. Мухамедьяров, И.З. Минязев, М.М. Фаттахов // Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук. – Уфа: Печатный домъ, 2016. – С. 27-29.
3. Платонова, М.А. Кинематические схемы манипуляторов для удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности в плане полосы отвода железных дорог / М.А. Платонова, М. В. Драпалюк, А. А. Платонов // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5, № 3(19). – С. 228-234. – DOI 10.12737/14651.
4. Платонов, А.А. Оценка видового разнообразия растительности, произрастающей на территориях линейных инфраструктурных объектов Центральной России / А.А. Платонов // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 1(49). – С. 180-193. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12..
5. Платонов, А.А. Аутсорсинг в области борьбы с нежелательной растительностью на эксплуатационных объектах инфраструктуры / А.А. Платонов // Научное обозрение. – 2017. – № 8. – С. 68-73.
6. Платонов, А.А. Структура формирования технологических процессов удаления нежелательной растительности с эксплуатационных объектов инфраструктуры / А.А. Платонов // Ползуновский альманах. – 2020. – № 1. – С. 65-68.
7. Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. 2007-2023. [Электронный ресурс] URL: <https://www.plantarium.ru/> (дата обращения: 22.09.2023).
8. Janečková, P., Řehouňková K., Vítovcová K., Šebelíková L., Prach K. Spontaneous succession on road verges—An effective approach with minimum effort. Land

- Degradation and Development. 2021. Vol. 32. № 9. pp. 2726-2734. <https://doi.org/10.1002/ldr.3949>
9. Dyderski, M.K., Jagodziński, A.M. How do invasive trees impact shrub layer diversity and productivity in temperate forests? *Annals of Forest Science* 78, 20 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01033-8>

References

1. Anisimova, E.Yu. Methods of combating tree and shrub vegetation in the security zone of the linear part of pipelines / E.Yu. Anisimova // *Science, technology, industrial production: history, current state, prospects.* – Vladivostok: FEFU Publishing House, 2019. – pp. 248-251.
2. Maintenance and protection from vegetation of the highway right-of-way / G.G. Bagdasaryan, A.A. Mukhamedyarov, I.Z. Minyazev, M.M. Fattakhov // *Current problems of technical, natural and human sciences.* – Ufa: Printing House, 2016. – pp. 27-29.
3. Platonova, M.A. Kinematic diagrams of manipulators for removing unwanted trees and shrubs in terms of railway right-of-way / M.A. Platonova, M.V. Drapalyuk, A.A. Platonov // *Forestry Journal.* – 2015. – T. 5, № 3(19). – pp. 228-234. – DOI 10.12737/14651.
4. Platonov, A.A. Assessment of species diversity of vegetation growing in the territories of linear infrastructure facilities in Central Russia / A.A. Platonov // *Forestry Journal.* – 2023. – T. 13, № 1(49). – pp. 180-193. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12..
5. Platonov, A.A. Outsourcing in the field of combating unwanted vegetation at operational infrastructure facilities / A.A. Platonov // *Scientific review.* – 2017. – № 8. – pp. 68-73.
6. Platonov, A.A. Structure of the formation of technological processes for removing unwanted vegetation from operational infrastructure facilities / A.A. Platonov // *Polzunovsky almanac.* – 2020. – № 1. – pp. 65-68.
7. Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. 2007-2023. URL: <https://www.plantarium.ru/lang/en.html> (accessed on 22 Sep 2023).
8. Janečková, P., Řehouňková K., Vítovcová K., Šebelíková L., Prach K. Spontaneous succession on road verges—An effective approach with minimum effort. *Land Degradation and Development.* 2021. Vol. 32. № 9. pp. 2726-2734. <https://doi.org/10.1002/ldr.3949>
9. Dyderski, M.K., Jagodziński, A.M. How do invasive trees impact shrub layer diversity and productivity in temperate forests? *Annals of Forest Science* 78, 20 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01033-8>

**Рязанцева О.С.
Цепляев А.Н.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Анализ состояния посадок конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) на некоторых объектах г. Воронежа

Аннотация. В статье приведены результаты анализа состояния 330 разновозрастных экземпляров конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.), произрастающих на улицах центральной части г. Воронежа. Были выбраны урбонасаждения, характеризующиеся различными микроклиматическими условиями, в которые входили рядовые монопосадки *A. hippocastanum* L., солитерные посадки, посадки в составе смешанных групп. В насаждениях были выявлены бурая и красно-коричневая пятнистость листьев, минирующая моль, краевой некроз листьев. В результате маршрутных обследований выявлено, что 100% экземпляров, попавших в выборку, в разной степени повреждены указанными патогенами. В качестве основных мероприятий по борьбе с ними в условиях городской среды рекомендуется уничтожение опавших листьев, замена пород на устойчивые виды и сорта.

Ключевые слова: конский каштан обыкновенный, охридский минер, бурая пятнистость, красно-коричневая пятнистость

**Riazantseva O.S.
Tsepliaev A.N.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Horse Chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) condition analysis at some locations in Voronezh

Abstract. The article presents the results of the analysis of the condition of 380 specimens of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) of different ages growing on the streets of the central part of Voronezh. Urban plantings characterized by various microclimatic conditions were selected, which included ordinary monoposets of *A. hippocastanum* L., solitary plantings, plantings as part of mixed groups. Brown and red-brown leaf spotting, mining moth, marginal leaf necrosis were detected in the

plantings. As a result of route surveys, it was revealed that 100% of the specimens included in the sample were damaged to varying degrees by these pathogens. As the main measures to combat them in an urban environment, it is recommended to destroy fallen leaves, replace rocks with resistant species and varieties.

Key words: horse chestnut, ohrid miner, brown spotting, red-brown spotting

1. Введение

Зеленые насаждения являются органической частью планировочной структуры современного города и выполняют в нем разнообразные функции. Среди функций урбонасаждений можно выделить две основные: экологические и эстетические [3,10]. Значительные повреждения древесных растений вредителями и болезнями негативно сказывается на жизненно важных физиологических процессах, снижая биологические и декоративные показатели растений.

Конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.) – высокодекоративное растение, получившее широкое распространение в ландшафтной архитектуре городов многочисленных стран Европы, Средней и Восточной Азии, Северной Америки. Как интродуцент конский каштан широко используется с середины 18-го столетия в озеленении Западно-европейских городов. При этом конский каштан постепенно заселялся патогенными организмами [11].

В европейской части России конский каштан на объектах озеленения широко используется с 60-х годов прошлого столетия. В первые десятилетия после массового введения в городские насаждения конский каштан обыкновенный практически не поражался патогенными организмами. Патологическое состояние насаждений конского каштана вызывает повышенный интерес в последние два десятилетия, в связи с массовым поражением (побурением) и засыханием листвы, последующим усыханием крон деревьев. В древесно-декоративных питомниках проблема приобрела еще более серьезный масштаб, что вызвало полный отказ от производства посадочного материала данной древесной породы. В настоящее время конский каштан является одним из наиболее повреждаемых компонентов городской дендрофлоры в европейской части России [6].

Наибольшую патогенную значимость в настоящее время в насаждениях конского каштана имеет сумчатый гриб *Guignardia aesculi*, вызывающий бурую пятнистость листьев, красно-коричневая пятнистость (гриб *Phyllosticta sphaeropsoides*), минирующая моль (*Cameraria ohridella*), краевой некроз листьев, а также ожоги. Совместное действие этих факторов приводит к последовательной смене дехромации, деформации, дефолиации листьев и увеличению ажурности кроны [7-9].

Целью настоящего исследования является оценка состояния насаждений каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.), произрастающих на различных участках г. Воронежа и выработка рекомендаций по защите и реконструкции каштановых насаждений.

2. Материалы и методы

Нами были обследованы семь объектов ландшафтной архитектуры центральной части г. Воронежа, на которых произрастает конский каштан обыкновенный. Характеристика объектов приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика объектов ландшафтной архитектуры

Объект	Тип посадок	Краткая характеристика условий	Количество экземпляров в выборке, шт.
Петровский сквер	Группа в составе смешанных посадок, парковое размещение	Площадь 0,5 га. Рельеф – спокойный с уклоном в восточном	10
Кольцовский сквер	Группа в составе смешанных посадок, парковое размещение	Площадь 1 га. Рельеф - ровный	30
Ул. Фридриха Энгельса	Рядовая посадка, уличное размещение	Протяженность 3,7 км. Рельеф - ровный	100
Ул. Кольцовская	Рядовая посадка, Группа в составе смешанных посадок	Протяженность 3,5 км. Рельеф - ровный	20
Ул. Плехановская	Рядовая посадка, уличное размещение	Протяженность 2,5 км. Рельеф - ровный	100
Ул. Комиссаржевской	Рядовая посадка, уличное размещение	Протяженность 0,9 км. Рельеф - ровный	60
Частный сектор Центрального района	Солитерные, групповые посадки	Ограничен ул. Пятницкого, ул. Ст. Разина, пр-т Революции. Рельеф – холмистый с уклоном в восточном	10
Итого			330

Насаждения оценивались визуально в процессе маршрутных обследований по состоянию кроны и поврежденности листьев. Наблюдения проводились в середине сентября 2023 года. Оценка жизненного состояния деревьев в выборке проводилась по внешним признакам по 5-балльной шкале, разработанной В.А. Алексеевым. В соответствии с которой состояние здоровых деревьев

приравнивается к 100%, мертвых – 0. Для деревьев промежуточной градации определяются коэффициенты, соответствующие их жизненному состоянию [1].

Расчет индексов состояния насаждений производится по формуле:

$$ИС = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4) / N,$$

где ИС – индекс жизненного состояния древостоя; n_1 – количество здоровых (без признаков ослабления) деревьев, n_2 – ослабленных, n_3 – сильно ослабленных, n_4 – усыхающих; N – общее количество деревьев (включая сухостой). Отнесение насаждений к категориям жизненного состояния осуществляется на основе модифицированной шкалы В.А. Алексеева, в соответствии с которой насаждения с индексом состояния:

1. 90-100% относятся к категории «здоровых»;
2. 80-89% - «здоровых с признаками ослабления»;
3. 70-79% - «ослабленных»;
4. 50-69% - «поврежденных»;
5. 20-49% - «сильно поврежденных»;
6. менее 20% - «разрушенных».

3. Результаты и их обсуждение

Повреждение каштанов каштановой минирующей молью в городском озеленении имеет ряд негативных аспектов. Прежде всего, поврежденные кроны теряют естественный декоративный облик. Кроме того, повреждённые кроны не обеспечивают деревьям каштана достаточного накопления питательных веществ, и они могут зимой вымерзнуть. Все эти факторы в комплексе приводят к угнетению развития, потере декоративности и санитарно-оздоровительных функций [2].

На рис. 1 представлены основные виды повреждений каштана конского, вызванные патогенами, обнаруженные при исследовании насаждений в г. Воронеже. Из опасных вредителей и болезней на исследуемых объектах обнаружены бурую пятнистость листьев, красно-коричневая пятнистость и минирующая моль, зафиксированы отдельные растения с наличием мучнистой росы на листьях.



Рисунок 1 – Минирующая моль, бурая пятнистость, красно-коричневая пятнистость *A. hippocastanum* L.

Результаты проведенного нами анализа насаждений *A. hippocastanum* L. приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты оценки поврежденности насаждений

Объект	Количество деревьев в выборке по категориям жизненного состояния, шт.				Значение индекса состояния насаждения	Категория жизненного состояния насаждения
	Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные	Усыхающие		
Петровский сквер	0	4	6	0	52	Поврежденные
Кольцовский сквер	0	8	22	0	48	Сильно поврежденные
Ул. Фридриха Энгельса	0	10	90	0	43	Сильно поврежденные
Ул. Кольцовская	0	4	16	0	46	Сильно поврежденные
Ул. Плехановская	0	2	91	7	38	Сильно поврежденные

Ул. Комиссаржевской	0	4	56	0	42	Сильно поврежденные
Частный сектор Центрального района	0	0	10	0	40	Сильно поврежденные

Таким образом, из результатов анализа видно, что основная масса насаждений каштана конского является сильно поврежденной болезнями и вредителями. Выявленные патогены наносят ущерб не только декоративному виду насаждения, но и нарушают нормальные процессы жизнедеятельности деревьев. Поврежденные листья деформируются и полностью опадают.

Конский каштан характеризуется рядом особенностей вегетации, заключающихся в том, что после летней потери листьев каштаны не обладают способностью к возобновлению в течение вегетационного сезона фотосинтезирующего аппарата взамен утраченного, как это наблюдается у подавляющего большинства древесных пород умеренной зоны. У конского каштана при повреждении более 60 % поверхности листовой пластинки поврежденная листва опадает (дефолиация), начинается развитие спящих листовых и цветковых почек, которые в норме должны развиваться следующей весной, что в свою очередь в конце сезона вызывает осеннее цветение каштана (рис. 2), которое представляет главную угрозу этой породе.

На это растение тратит значительное количество энергии и, таким образом, в зимовку входит ослабленным. Дефолиация на протяжении нескольких лет подряд, вызванная различными факторами, по обыкновению приводит к значительному ослаблению дерева и, как правило, вызывает его гибель [4].

В 2018 г. в Кольцовском сквере были высажены крупномерные деревья из европейского питомника, в том числе Каштан конский розовый (*Aesculus × carnea*).

В результате анализа указанного выше вида выявлено, что он не поражается бурой и красно-коричневой пятнистостью. Незначительная плотность популяции *C. ohridella* может свидетельствовать об устойчивости данного сорта к этому вредителю (рис. 3).

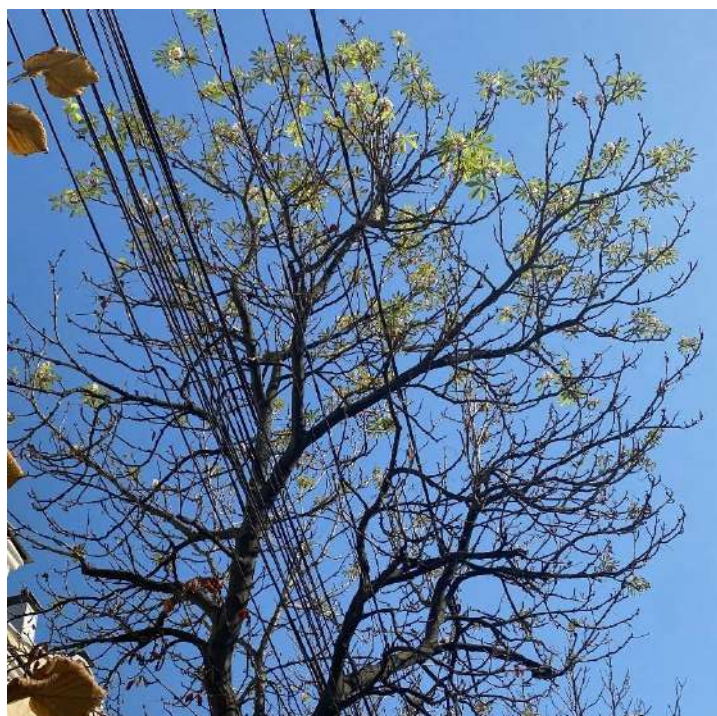


Рисунок 2 – Повторное осеннее цветение *A. hippocastanum L.* в сентябре на ул. Плехановская г. Воронежа



Рисунок 3 – Состояние в сентябре розовоцветного Каштана конского в Кольцовском сквере г. Воронежа

4. Заключение

Конский каштан обыкновенный (*A. hippocastanum L.*), являясь относительно молодым компонентом городской дендрофлоры Центрального Черноземья, к настоящему времени стал одним из наиболее повреждаемых древесных пород [6].

В результате маршрутных обследований выявлено, что 100% экземпляров, попавших в выборку, в разной степени повреждены патогенами, включающими *Guignardia aesculi*, вызывающий бурую пятнистость листьев, красно-коричневая пятнистость (*Phyllosticta sphaeropsoidea*), минирующая моль (*Cameraria ohridella*). Совместное действие этих факторов приводит к последовательной смене дехромации, деформации, дефолиации листьев и увеличению ажурности кроны.

Существующие на сегодня меры защиты *A. hippocastanum* L. недостаточно разработаны. Так, например, инсектициды, являющиеся эффективными при борьбе с вредителями, в условиях города представляют экологическую опасность.

В этой связи наиболее доступными и применяемыми являются сбор и утилизация опавших листьев, обрезка в весенний период поражённых болезнями и насекомыми побегов и ветвей.

Рекомендуется поэтапная замена существующих насаждений *A. hippocastanum* L. селекционно улучшенными устойчивыми видами и сортами, к которым можно отнести, например, конский каштан розовый (*Aesculus* × *carnea*).

Библиографический список

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 04. С. 51-57.
2. Алексашкина О. В. Экологическое состояние посадок *Aesculus hippocastanum* в урбоэкосистемах / О. В. Алексашкина // Защита растений в условиях экологизации сельскохозяйственного производства : Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – Орел. 2018. – С. 17-22.
3. Бухарина И. Л., Журавлева А.Н., Большова О.Г. Городские насаждения: экологический аспект: монография / И.Л. Бухарина, А.Н. Журавлева, О.Г. Большова – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. – 206с.
4. Зерова М.Д., Никитенко Г.Н., Нарольский Н.Б., Гершензон З.С., Свиридов С.В., Лукаш О.В., Бабидорич М.М. Каштановая минирующая моль в Украине. К.: ТОВ «Велес», 2007. - 87 с.
5. Ларионов М.В., Ларионов Н.В. Оценка экологического состояния и устойчивости древесных насаждений урбанизированных территорий/М.В. Ларионов, Н.В. Ларионов//Научное обозрение. 2012. № 4. С. 98-106.
6. Мамедов М.М. Патогенез конского каштана (*Aesculus hippocastanum* L.) в условиях Центрального Черноземья и юга России и его экологическая регуляция: дис. ... к-та биол. наук 03.02.08 / Мамедов М.М. – Воронеж, 2011 – 133 С.
7. Трибель С.А. Мониторинг каштановой минирующей моли // Трибель. С.А., Гаманова, С.Н // Защита и карантин растений. – Москва. – 2006 – №2. – С. 45 – 47

8. Трушева Н.А. Болезни и вредители Каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum*) в Москве / Трушева Н.А., Иванова К.К. // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Москва. 2019. – №1. – С. 160-163.
9. Тяпкина А.П. Оценка состояния насаждений их Каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) на некоторых объектах озеленения г. Орла / А.П. Тяпкина, Н.А. Ширяева, Ж.Г. Силаева // Вестник аграрной науки. 2022. №1. С. 38-44.
10. Хакимова, А. Р. Значение зелёных насаждений в городской среде / А. Р. Хакимова, А. С. Веденский. // Юный ученый. — 2019. — № 8 (28). — С. 138-140.
11. Черпаков В.В. О бактериальном поражении *Pseudomonas syringae* pv. *Aesculi* конского каштана в Российской Федерации // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2013. - №37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-bakterialnom-porazhenii-pseudomonas-syringae-pv-aesculi-konskogo-kashtana-v-rossiyskoy-federatsii>

References

1. Alekseev V.A. 1989 Diagnostics of the vital condition of trees and stands *Forest science* (in Russian – Lesovedenie) **Vol. 4** pp 51-57
2. Aleksashkina O.V. 2018 Ecological state of *Aesculus hippocastanum* plantings in urban ecosystems *Plant protection in the conditions of ecologization of agricultural production : Materials of the international scientific and practical conference of students, postgraduates, young scientists and specialists* (in Russian – *Zacshita rastenii v usloviiah selskohoziaystvennogo proizvodstva : Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, molodyh uchenyh i spetsialistov*) pp 17-22
3. Buharina I.L. 2012 Urban plantings: ecological aspect: monograph / I.L. Bukharina, A.N. Zhuravleva, O.G. Bolyshova - Izhevsk: Publishing house "Udmurt University" 206 p.
4. Zerova M.D., Nikitenko G.N., Narolsky N.B., Gershenzon Z.S., Sviridov S.V., Lukash O.V., Babidorich M.M. 2007 Chestnut mining moth in Ukraine. K.: TOV "Veles" 87 p.
5. Larionov M.V., Larionov N.V. 2012 Assessment of the ecological state and sustainability of tree plantations of urbanized territories *Scientific review* (in Russian – *Nauchnoe obozrenie*) **Vol. 4** pp 98-106
6. Mamedov M.M. 2011 Pathogenesis of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* D.) in the conditions of the Central Chernozem region and the south of Russia and its ecological regulation Kand. Diss. Voronazh 133 p.
7. Tribel. S.A., Hasanova, S.N. 2006 Monitoring of chestnut mining moth *Plant protection and quarantine* (in Russian – *Zacshita i carantin rastenii*) **Vol. 2** pp 45-47.
8. Trusheva N.A., Ivanova K.K. 2019 Diseases and pests of Horse Chestnut (*Aesculus hippocastanum*) in Moscow *Actual problems of the forest complex* (in Russian – *Actualnye problem lesnogo kompleksa*) **Vol. 1** pp 160-163

9. Tyapkina A.P., Shiryayeva N.A., Silaeva Zh.G. 2022 Assessment of the state of plantings of their Horse Chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) at some landscaping sites in Orel *Bulletin of Agrarian Science* (in Russian – Vestnic agrarnoi nauci) **Vol. 1** pp 38-44
10. Khakimova A. R., Vedensky A. S. 2019 The importance of green spaces in the urban environment *Young scientist* (in Russian – Yunyi uchenyi) **Vol. 8** pp 138-140
11. Cherpakov V.V. 2013 About bacterial lesion of *Pseudomonas syringae* pv. *Aesculi* horse chestnut in the Russian Federation *Actual problems of the forest complex* (in Russian – Actualnye problem lesnogo kompleksa) **Vol. 37** URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-bakterialnom-porazhenii-pseudomonas-syringae-pv-aesculi-konskogo-kashtana-v-rossiyskoy-federatsii>.

Сиволапов А.И.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*
Кулаков Е.Е.
*Всероссийский научно-исследовательский
институт лесной генетики,
селекции и биотехнологии, г. Воронеж*

Особенности произрастания и перспективы внедрения лиственницы в лесокультурное производство для условий лесостепной зоны

Аннотация. Статья посвящена особенностям роста и продуктивности лиственницы в условиях лесостепной зоны Российской Федерации. Авторами отмечено, что годы с недостаточными температурами в вегетационный период ниже нормы лучший рост по диаметру на серых лесных почвах в пятилетнем возрасте наблюдается у экотипов из Архангельской, Пермской, Челябинской областей и Прибалтики у лиственницы Сукачева. Важной особенностью произрастания лиственницы является закладка культур на свежих, хорошо аэрируемых почвах с достаточной влажностью. В условиях недостаточной или избыточной влажности почвы, плохого воздухообмена и недостаточной увлажненности почвы (например, тяжелые глинистые заболоченные или торфяные почвы) у лиственницы наблюдается слабый рост и усыхание. Анализ сохранности некоторых представителей лиственницы позволил наиболее адаптивные экотипы лиственницы сибирской и Сукачева. Для лиственницы европейской условия лесостепной зоны в силу засушливых периодов не рекомендуются, однако по продуктивности данный вид занимает одно из главенствующих мест превышая другие виды.

Ключевые слова: лиственница, продуктивность, климат, почвы.

Sivolapov A.I., Kulakov E.E.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh
All-Russian Scientific Research Institute of Forest Genetics,
Breeding and Biotechnology, Voronezh*

Features of growth and prospects for the introduction of larch into silvicultural production for the conditions of the forest-steppe zone

Abstract. The article is devoted to the peculiarities of growth and productivity of larch in the forest-steppe zone of the Russian Federation. The authors noted that in

years with insufficient and below-normal temperatures during the growing season, the best growth in diameter on gray forest soils at the age of five is observed in ecotypes from the Arkhangelsk, Perm, Chelyabinsk regions and the Baltic States in Sukachev larch. An important feature of larch growth is planting crops on fresh, well-aerated soils with sufficient moisture. Under conditions of insufficient or excessive soil moisture, poor air exchange and insufficient soil moisture (for example, heavy clay, swampy or peaty soils), larch exhibits weak growth and drying out. Analysis of the preservation of some larch representatives revealed the most adaptive ecotypes of Siberian and Sukachev larch. For European larch, the conditions of the forest-steppe zone due to dry periods are not recommended, however, in terms of productivity, this species occupies one of the leading places, exceeding other species.

Key words: larch, productivity, climate, soil.

1. Введение

Самую большую площадь в Российской Федерации занимает лиственница, однако представительство в Центральном Федеральном округе, в том числе в защитных лесных насаждениях Воронежской области незначительное и носит в основном экспериментальный характер.

В лесокультурном производстве лиственница имеет целый ряд преимуществ перед хвойными породами. Главной отличительной особенностью среди интродуцентов является быстрый рост на начальных этапах развития, который повышает экономическую эффективность лесоводственных и агротехнических уходов. Лиственница в чистых по составу культурах формирует насаждения высокой полноты и продуктивности. Как сопутствующая порода в смешении с сосной или елью значительно повышает продуктивность главной породы.

В защитном лесоразведении по дальности защитного влияния и общей эффективности лесополос лиственница превосходит все виды местных и интродуцированных хвойных и лиственных деревьев, уступая в первое время (до 20 лет) только тополи, однако превосходит его по долговечности. Изучение адаптационных способностей лиственницы к природно-климатическим условиям лесостепи, отбор наиболее устойчивых и продуктивных видов и экотипов является актуальной проблемой, решение которой способствует повышению биоразнообразия и средообразующих функций

Материалы и методы

Изучение особенностей лиственницы проводилось в квартале 54 Правобережного лесничества УОЛ ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Посадка культур осуществлялась 2-летними саженцами под меч Колесова с размещением посадочных мест 1,5 x 0,5 м. Образцы лиственницы на участке объединены по районам и высажены на секции 25 x 25 м. Всего на участке высажено 99 образцов лиственницы. Лиственница Сукачева представлена 38 экотипами из 8 областей (Архангельская (61-64⁰ с.ш.), Прибалтика (57-58⁰ с.ш.), Ивановская, Костромская, Калининская (57-58⁰ с.ш.), Пермская (57-58⁰ с.ш.), Свердловская (57-58⁰ с.ш., 59-60⁰ с.ш.), Челябинская).

Лиственница сибирская (58 образцов) – из Восточной группы районов: Иркутская область и Бурятская АССР, Западной группы – Красноярский край, Хакассии, Тувы, Забайкалья и Прибайкалья Алтая (49-59⁰ с.ш.). Девять экотипов лиственницы европейской из Прибалтики (57⁰ с.ш.) и Прикарпатья (49⁰ с.ш.).

В рамках исследований нами был оценен рост в годы с избыточным увлажнением и температурным режимом, близким и превышающим норму, и с недостаточным увлажнением и температурным режимом, не превышающим норму. Данные за 5, 10, 15 лет были взяты из архива Р.И. Дерюжина [1], данные за 64 и 67 лет получены в полевых условиях. Также оценен рост и состояние в 67-летнем возрасте в коллекционно-географических культурах.

Результаты и их обсуждение

В условиях лесостепной зоны лиственница характеризуется широкой изменчивостью морфологических признаков и биоэкологических особенностей, которые определяются наследственностью и климатическими факторами. В лесокультурном производстве необходимо учитывать требования древесных пород к погодным, климатическим и почвенным условиям. Первые упоминания о происхождении лиственницы указывают на рост в горных условиях и континентальном климате. Как таковая, она требует воздухообмена, сухости и достаточного количества тепла в период вегетации, а также способна переносить и даже иногда требует низких температур в период зимнего покоя. Достаточная влажность почвы и эти условия увеличивают транспирацию и ассимиляцию лиственницы, делая ее быстрорастущей, прямостоячей и устойчивой к болезням.

В условиях высокой влажности воздуха, температур ниже нормы в период вегетации, недостаточной усвояемости влаги в почве у лиственницы происходит задержка транспирации, нарушается интенсивность ассимиляции [2-6]. Лиственница растет плохо, наблюдается искривление стволов, высокий процент поражаемости фитопатогенами и энтомоу вредителями [7-9]. Поэтому, чем полнее удовлетворены биологические особенности и требования лиственницы к условиям жизни, то есть климатическим, почвенным условиям, тем лучше растут образуемые лиственницей лесные насаждения и формируют устойчивые и продуктивные древостои [10].

В годы с недостаточным увлажнением (1960 г. – количество осадков ниже на 3 % по сравнению с нормой) и температурами в вегетационный период ниже нормы ($T < 0,28$ °C) лучший рост по диаметру на серых лесных почвах в пятилетнем возрасте наблюдается у экотипов из Архангельской, Пермской, Челябинской областей и Прибалтики (по средним значениям выше на 1,13 см, по высоте у происхождений из Ивановской, Костромской, Тверской областей и Прибалтики ($H > H_{ср.}$ на 3,9 см) у лиственницы Сукачева.

Так, средняя высота у 5-летних происхождений лиственницы сибирской в условиях Воронежской области за аналогичный вегетационный период 1960 г. составила 0,88 см (минимальный у происхождения из Хакассии I-II бонитет (0,41 см), Иркутской области из 56 и 59 широт – 0,64 см; максимальный – 1,06 (Красноярский край и Тува 52-53⁰ с.ш.) и 1,22 см (Хакасия III бонитет)). Для лиственницы европейской в аналогичный год диаметр и высота составляют 6,1

см и 1,46 м соответственно. В годы же с оптимальным увлажнением прирост по диаметру может составлять до 2 см у лиственницы сибирской, 3 см у лиственницы Сукачева и 5 см у лиственницы европейской.

Подходящие почвы для лиственницы должны быть глубокими, свежими, хорошо аэрируемыми и увлажненными. В условиях недостаточной или избыточной влажности почвы, плохого воздухообмена и недостаточной увлажненности почвы (например, тяжелые глинистые заболоченные или торфяные почвы) у лиственницы наблюдается слабый рост и усыхание [11, 12]. Лиственница успешно продуцирует фитомассу на почвах с близкой к нейтральному реакции среды (pH) и мощным гумусовым горизонтом [163].

Произрастая в условиях недостаточной увлажненности образует низкие по производительности (V-Va классы бонитета) древостои [13]. Исследования В.В. Надеждина (1965) указывают на то, что вследствие избытка влаги и недостатка воздуха и тепла, период роста и прирост лиственницы в микропонижениях оказался задержанным, а отпад культур – повышенным. При этом более сильное влияние переувлажнения почвы и недостатка воздуха и тепла наблюдается у лиственницы сибирской, и наоборот, меньшее влияние оказывается на лиственницу европейскую. Лиственница Сукачева занимает промежуточное положение между ними. Однако необходимо отметить, что экологические требования разных видов лиственницы в зависимости от их географического происхождения (экотипов) различны [168].

На территории Воронежской области культуры лиственницы на черноземах выщелочных, где мощность гумусового горизонта составляет не более 60 см, содержание гумуса колеблется от 5,2 до 6 %, показывают высокую приживаемость (в первый год после посадки сохраняется около 60 %). Серые лесные почвы бедны гумусом по сравнению с черноземами, что объясняется повышенным увлажнением леса, при котором происходит энергичное и глубокое промывание почвы. Приживаемость и рост лиственницы высокие, однако в первые годы после посадки наблюдается отпад в размере 30 % [82].

Темно-серые лесные почвы богаты гумусом, подвижными формами фосфора, калия и поглощенными основаниями. Некоторыми авторами отмечена высокая приживаемость на почвах суглинистого гранулометрического состава доля которых составляет 49,9 %. На темно-серой супеси, среднегумусированной почве лиственница прекрасно растет [14]. Однако в засушливые годы отпад может составлять до 40 %.

Помимо требования лиственницы к почвенным условиям, важно знать сохранность и состояние экотипов для создания устойчивых и продуктивных лесных культур. Анализ сохранности культур показал, что в условиях лесостепной зоны наиболее адаптивны экотипы лиственницы Сукачева из Свердловской области - 14%, лиственницы сибирской из Краснодарского края - 14%. Наименьшую сохранность показала лиственница европейская из Латвии и Литвы (4%), но по продуктивности, занимает одно из главенствующих мест превышая другие экотипы по диаметру и высоте.

По высоте наибольшие приросты имели деревья лиственница европейская из Латвии и Литвы (средняя высота 26,3 м), лиственница Сукачева из

Архангельской, Пермской и Челябинской областей (высота 21,5-22,1 м). Наименьшую продуктивность имеет лиственница из Московской области (высота 18,2 м). В рамках исследований отмечено, что потомство образцов взятых из насаждений VI - V бонитета повышают бонитет до I-II, что связано с благоприятными условиями произрастания. Также семена из I - II бонитета сохраняют данный показатель в культуре в условиях интродукции.

Заключение

Опыт интродукции лиственницы в лесостепную зону показал высокий темп роста и сохранность некоторых экотипов. На основе полученных данных рекомендуются семена лиственницы сибирской из Хакасии I-II бонитет, низкогорный экотип из Иркутской области, лиственницы Сукачева из Ивановской, Костромской, Тверской, Свердловской областей, культуры которых обладают высокой продуктивностью, скоростью роста, устойчивостью к климатическим и антропогенным факторам. Для лиственницы европейской характерна высокая продуктивность, однако к 60 годам сохранность снижается до 10%.

В рамках исследований отмечено, что по сравнению с лесообразующими хвойными видами в первые десятилетия темпы роста лиственницы значительно выше. Выявлена значительная дифференциация культур лиственницы по показателям роста и устойчивости в зависимости от видовой принадлежности и происхождений. Анализируя лиственницу в целом, стоит отметить, что континентальность климата и погодных условий, достаточная влажность почвы особенно для лиственниц сибирской и Сукачева, является важным фактором устойчивости, хорошего роста и высокого прироста. Для успешного роста лиственницы необходима надлежащая подготовка почвы и хороший посадочный материал. Так как эта культура устойчива против повреждений насекомыми и грибными болезнями, она может культивироваться в условиях частого возникновения очагов развития насекомых или грибных заболеваний.

Список литературы

1. Дерюжкин, Р. И. Результаты изучения географических культур лиственницы в Воронежской области / Р.И. Дерюжкин // Вопросы повышения интенсивности лесного хозяйства: науч. тр. Воронеж. лесотехн. ин-та. – Воронеж, 1969. – С. 38-52. – *Библиогр.*: с. 52.

3. Yan, T., Lü, XT., Zhu, JJ. *et al.* Changes in nitrogen and phosphorus cycling suggest a transition to phosphorus limitation with the stand development of larch plantations. *Plant Soil* **422**, 385–396 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3473-9>

2. Hwang, J., Son, Y. Short-term effects of thinning and liming on forest soils of pitch pine and Japanese larch plantations in central Korea. *Ecol Res* **21**, 671–680 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0170-1>

4. Wang, W., Su, D., Qiu, L. *et al.* Concurrent changes in soil inorganic and organic carbon during the development of larch, *Larix gmelinii*, plantations and their effects on soil physicochemical properties. *Environ Earth Sci* **69**, 1559–1570 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1990-7>
5. Кеппен, Ф. Географическое распространение хвойных деревьев в Европейской части России и на Кавказе / Ф. Кеппен ; Зап. Импер. Акад. Наук. – Санкт-Петербург, 1885. – 634 с. – Библиогр.: с. 600-634.
6. Романовский, М. Г. Система вида у лесных растений / М. Г. Романовский, Р. В. Щекалев. ; М.: Товарищество науч. изданий КМК. – Москва, 2014. - 212 с. – Библиогр.: с. 210-212. - ISBN 978-5-87317-982-4.
7. Кулаков, Е. Е. Современное состояние географических экотипов лиственницы в условиях лесостепи / Е. Е. Кулаков // Наука будущего - наука молодых: Сборник тезисов докладов участников Второго Всероссийского молодёжного научного форума. – Казань, 2016. – С. 136-138. – Библиогр.: с. 138.
8. Кулаков, Е. Е. Генетическая паспортизация лиственницы сибирской с использованием SSR-PCR маркеров / Е. Е. Кулаков, Е. А. Воробьева, В. А. Сиволапов // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2021. – С. 262-263. – Библиогр.: с. 263.
9. Лес и климат центральной полосы России/ под общ. ред. В.В. Рубцова. – Архангельск : ОАО «ИПП «Правда Севера», 2009. – 110 с. – Библиогр.: с. 104-110. – ISBN 5-02-32649-6
10. Коженкова, А. А. Дальневосточные лиственницы как ценный генофонд для интродукции в центр русской равнины / А. А. Коженкова, М. Д. Мерзленко // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2017. – № 49. – С. 99-101. – Библиогр.: с. 101 (9 назв.).
11. Gao, P., Zhu, J., Yan, Q. *et al.* Correction to: The amelioration of degraded larch (*Larix olgensis*) soil depends on the proportion of *Aralia elata* litter in larch - *A. elata* agroforestry systems. *J. For. Res.* **34**, 1649 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01547-5>
12. Тимофеев, В. П. Лиственница в культуре (к 80-летию Лесной опытной дачи ТСХА) / В. П. Тимофеев ; Л.: Гослесбумиздат. – Москва, 1947. -296 с. – Библиогр.: с. 290-296.
13. Мельник, П. Г. Рост и производительность Архангельского климатипа сосны обыкновенной в условиях Подмосковья / П. Г. Мельник, Ю. П. Глазунов, М. Д. Мерзленко // Лесной журнал. – 2017. –№ 1(355). – С 9-20. – Библиогр.: с. 20 (15 назв.). – DOI 10.17238/issn0536-1036.2017.1.9.
14. Wang, H.; Wang, W.; Chang, S.X. Sampling Method and Tree-Age Affect Soil Organic C and N Contents in Larch Plantations. *Forests* **2017**, *8*, 28. <https://doi.org/10.3390/f8010028>

References

1. Deryuzhkin, R.I. Results of studying geographical cultures of larch in the Voronezh region / R.I. Deryuzhkin // Issues of increasing the intensity of forestry: scientific. tr. Voronezh. forestry engineering in-ta. – Voronezh, 1969. – P. 38-52. – Bibliography: p. 52.
2. Yan, T., Lü, XT., Zhu, JJ. et al. Changes in nitrogen and phosphorus cycling suggest a transition to phosphorus limitation with the stand development of larch plantations. *Plant Soil* 422, 385–396 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3473-9>
3. Hwang, J., Son, Y. Short-term effects of thinning and liming on forest soils of pitch pine and Japanese larch plantations in central Korea. *Ecol Res* 21, 671–680 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0170-1>
4. Wang, W., Su, D., Qiu, L. et al. Concurrent changes in soil inorganic and organic carbon during the development of larch, *Larix gmelinii*, plantations and their effects on soil physicochemical properties. *Environ Earth Sci* 69, 1559–1570 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1990-7>
5. Keppen, F. Geographical distribution of coniferous trees in the European part of Russia and the Caucasus / F. Keppen; Zap. Imperial Academician Sci. – St. Petersburg, 1885. – 634 p. – Bibliography: p. 600-634.
6. Romanovsky, M. G. Species system in forest plants / M. G. Romanovsky, R. V. Shchekalev. ; M.: Partnership scientific. KMK publications. – Moscow, 2014. - 212 p. – Bibliography: p. 210-212. - ISBN 978-5-87317-982-4.
7. Kulakov, E. E. Current state of geographical ecotypes of larch in forest-steppe conditions / E. E. Kulakov // Science of the future - science of the young: Collection of abstracts of reports of participants of the Second All-Russian Youth Scientific Forum. – Kazan, 2016. – pp. 136-138. – Bibliography: p. 138.
8. Kulakov, E. E. Genetic certification of Siberian larch using SSR-PCR markers / E. E. Kulakov, E. A. Vorobyova, V. A. Sivolapov // Agrarian science - agriculture: Collection of materials of the XVI International scientific- practical conference. – Barnaul, 2021. – pp. 262-263. – Bibliography: p. 263.
9. Forest and climate of central Russia / edited by. ed. V.V. Rubtsova. – Arkhangelsk: OJSC “IPP “Pravda Severa”, 2009. – 110 p. – Bibliography: p. 104-110. – ISBN 5-02-32649-6
10. Kozhenkova, A. A. Far Eastern larches as a valuable gene pool for introduction into the center of the Russian plain / A. A. Kozhenkova, M. D. Merzlenko // Current problems of the forest complex. – 2017. – No. 49. – P. 99-101. – Bibliography: p. 101 (9 titles).
11. Gao, P., Zhu, J., Yan, Q. et al. Correction to: The amelioration of degraded larch (*Larix olgensis*) soil depends on the proportion of *Aralia elata* litter in larch -

A. elata agroforestry systems. J. For. Res. 34, 1649 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01547-5>

12. Timofeev, V. P. Larch in culture (to the 80th anniversary of the Forest Experimental Dacha of the TSHA) / V. P. Timofeev; L.: Goslesbumizdat. – Moscow, 1947. -296 p. – Bibliography: p. 290-296.

13. Melnik, P. G. Growth and productivity of the Arkhangelsk climatype of Scots pine in the conditions of the Moscow region / P. G. Melnik, Yu. P. Glazunov, M. D. Merzlenko // Forest Journal. – 2017. –No. 1(355). – From 9-20. – Bibliography: p. 20 (15 titles). – DOI 10.17238/issn0536-1036.2017.1.9.

14. Wang, H.; Wang, W.; Chang, S.X. Sampling Method and Tree-Age Affect Soil Organic C and N Contents in Larch Plantations. Forests 2017, 8, 28. <https://doi.org/10.3390/f8010028>

**Сидельников В.А.,
Харченко Н.Н.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Восточный майский хрущ (*MELOLONTHA HIPPOCASTANI*)
в пригородном лесничестве Воронежской области**

Аннотация. По разным данным на территории Российской Федерации насчитывается от 4 видов хрущей (западный хрущ, восточный хрущ, мартовский хрущ, закавказский хрущ) и каждый из них представляет опасность для лесных культур. На сегодняшний день разработано обильное разнообразие защитных технологий и методов борьбы с подземными вредителями. Однако в большинстве регионов страны майский хрущ больше не воспринимается как опасный вредитель, что в свою очередь позволило восстановить рост числа особей.

Ключевые слова: восточный майский хрущ, очаги массового размножения, пробные площади.

**Sidelnikov V.A.,
Kharchenko N.N.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Eastern may crunch (*MELOLONTHA HIPPOCASTANI*) in the suburban
forestry of the Voronezh region.**

Abstract. According to various sources, there are from four types of crunches on the territory of the Russian Federation (western crunch, eastern crunch, March crunch, Transcaucasian crunch) and each of them is a danger to forest crops. To date, an abundant variety of protective technologies and methods of combating underground pests have been developed. However, in most regions of the country, the May crunch is no longer perceived as a dangerous pest, which in turn allowed the growth of the number of individuals to be restored.

Key words: the Eastern May crunch, mass reproduction centers, sample areas

Введение

Личинки восточного майского хруща (лат. *Melolontha hippocastani*), как и многие другие корнегрызущие вредители наносят значительный ущерб не только лесам, но и искусственно посаженным лесным культурам. Несмотря на это, наличие вредителей и динамика очагов размножения фиксируется далеко не во всех лесничествах страны. Ряд комплексных и своевременных мер по мониторингу и борьбе с вредителями необходимы для регулярного контроля массовых очагов размножения.

Цель исследования - Изучить вопрос распространения очагов заражения восточным майским хрущом на территории Левобережного участкового лесничества Пригородного лесничества Воронежской области и проанализировать результаты исследования.

Материал и методы исследования.

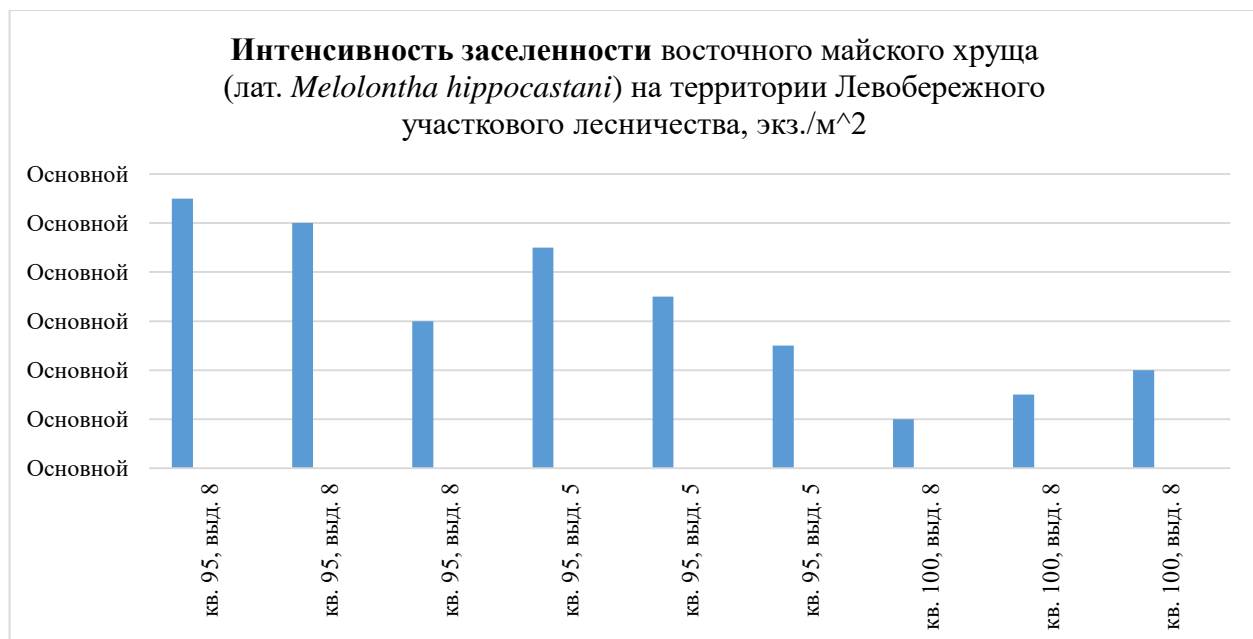
Исследования были проведены на территории Левобережного участкового лесничества в кварталах 95, 100, на месте пожара 2010-го года.

Было выбрано 3 участка и в каждом выбранном участке, в разных его частях было заложено три пробные площади размерами 0,5х0,5 м и глубиной 20 см. Ямы были заложены в межкрупных пространствах и на не облесённых площадях.

На каждом участке провели описание таксационных характеристик по материалам государственного лесного реестра насаждений.

Таблица 1-Интенсивность заселенности личинок восточного майского хруща (лат. *Melolontha hippocastani*) на обследуемой территории

Место проведения обследования	Краткая характеристика	ТЛУ	Площадь, га	Число личинок, экз./м ²
Левобережное участковое лесничество				
кв. 95, выд. 8	Подрост: 8Б2С	А3	0,4	11
кв. 95, выд. 8	Подрост: 8Б2С	А3	0,4	10
кв. 95, выд. 8	Подрост: 8Б2С	А3	0,4	6
кв. 95, выд. 5	Подрост: 7ОСЗБ	А2	0,7	9
кв. 95, выд. 5	Подрост: 7ОСЗБ	А2	0,7	7
кв. 95, выд. 5	Подрост: 7ОСЗБ	А2	0,7	5
кв. 100, выд. 8	Гарь	А2	11,3	2
кв. 100, выд. 8	Гарь	А2	11,3	3
кв. 100, выд. 8	Гарь	А2	11,3	4



**Рис. 1 - Интенсивность заселенности восточного майского хруща
(лат. *Melolontha hippocastani*) на территории Левобережного участкового
лесничества**

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные исследования показали (таблица 1), что на территории Левобережного участкового лесничества Пригородного лесничества наблюдается большая численность личинок хруща, что свидетельствует об очагах массового размножения. На момент исследований главенствующими оказались личинки 1-го класса возраста, что в совокупности с их количеством представляет существенную опасность для молодых культур в обозреваемом будущем (рис. 1). В наибольшей степени пострадали от сильного поедания корней личинкам восточного майского хруща березняки, встречающиеся на территории в виде естественного возобновления, а также лесных культурах. В настоящее время степень повреждения корней в такой степени, что если рассматривать хруща в качестве корнегрызущего вредителя в совокупности с засушливой погодой идет как причина ослабления насаждения и сигналом для активизации вредителям леса, то все эти участки, на которых проводились исследования, следует признать действующими очагами. Тем не менее, относительно не большой возраст деревьев на обследованных участках вызывает опасения, так как личинки хруща могут нанести деревьям заметный ущерб при повреждении корней.



Рис. 2 – Личинки восточного майского хруща (лат. *Melolontha hippocastani*)

Из этого следует, что временные пробные площади показали, начало формирования очагов массового размножения майского хруща (рис. 2). Причем такие места формирующихся очагов охватывают как молодые культуры сосны обыкновенной, так и посадки березы пушистой выращенной по технологии (ИНВИТРО).

В естественных условиях хрущ обитает в разных частях своего обширного ареала. По всей территории личинки питаются корнями различных растений, однако все деревья на исследуемых участках растут без ярко выраженных болезней. При этом важно следить за динамикой численности хруща и развитием очагов его массового размножения в местах естественного обитания. В разных местах Левобережного участкового лесничества предлагаем закладывать постоянные пробные площади по ведению детального наблюдения за вредителем.

Заключение

Подводя итоги проведенных нами исследований можно сделать следующие выводы: 1) Восточный майский хрущ, в данный момент активно формирует очаги на территории лесничества. 2) Количество личинок в насаждениях подроста значительно больше, чем на не облесенных площадях. За счет того, что личинки питаются корнями растений, а переходя в стадию жука, поедают листья березы и другие древесно-кустарниковые растения. Это может вызвать проблемы с созданием лесных культур на не облесенных территориях. 3) Для более полного представления о распространении очагов майского хруща необходимо закладывать постоянные пробные площади не только на исследуемых площадях, но и на всей территории предназначенных для посадки леса.

Список литературы

1. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Быченкова Т.Н., Клишина Л.И., Храмова О.Ю., Печникова Н.Д. Заселенность гарей на территории керженского заповедника личинками восточного майского хруща // Тр. Государственного природного биосферного заповедника «Керженский»: сб. статей. Нижний Новгород: Изд-во Министерства природных ресурсов и экологии РФ; Государственного природного биосферного заповедника «Керженский», 2014.
2. Воронцов А.И. Экологические основы современной системы мероприятий по борьбе с восточным майским хрущом // Борьба с восточным майским хрущом: материалы к научно-техническому совещанию 17-20 августа 1971 г. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 1971.
3. Гниненко Ю.И., Цуканов Я.В., Галич Д.Е., Чеплянский И.Я. Восточный майский хрущ — несколько забытая, но вновь реальная угроза // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023.
4. Партолин И.В. Особенности возрастной структуры микропопуляций майского хруща в географических культурах сосны/И.В. Партолин//Мат. конф., посв. 125-летию со дня рождения Г.Ф. Морозова. Деп. в ВИНТИ. -М., 1993, N9
5. Рекомендации по интегрированной борьбе с восточным майским хрущом. М.: ВНИИЛМ, 1980.

References

1. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Bychenkova T.N., Klishina L.I., Khramova O.Yu., Pechnikova N.D. The population of hares on the territory of the Kerzhensky reserve with larvae of the eastern May crunch // Tr. of the Kerzhensky State Natural Biosphere Reserve: collection of articles. Nizhny Novgorod: Publishing House of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation; Kerzhensky State Natural Biosphere Reserve, 2014.
2. Vorontsov A.I. Ecological foundations of the modern system of measures to combat the eastern May crunch // Fight against the eastern May crunch: materials for the scientific and technical meeting on August 17-20, 1971. Pushkino: VNIILM Publishing House, 1971.
3. Gninenko Yu.I., Tsukanov Ya.V., Galich D.E., Cheplyansky I.Ya. The Eastern May Crunch is a somewhat forgotten, but again a real threat // Forest Bulletin / Forestry Bulletin, 2023.
4. Partolin I.V. Features of the age structure of micropopulations of the May crunch in geographical pine cultures/I.V. Partolin//Mat. conf., dedicated to the 125th anniversary of the birth of G.F. Morozov. Dep. in VINITI. -M., 1993, N9
5. Recommendations for the integrated fight against the Eastern May Khrushchev. Moscow: VNIILM, 1980.

*Мытищинский филиал Московского Государственного
Технического Университета им. Н.Э. Баумана*

Мониторинг состояния зеленых насаждений

Аннотация. В статье дано обоснование необходимости проведения мероприятий по изучению состояния растительности в экологически неблагоприятных условиях, рассмотрены некоторые методы мониторинга за состоянием зеленых насаждений, приведены результаты исследований, позволяющих на примере липы мелколистной (*Tilia cordata*) определить устойчивость к факторам, оказывающим негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: мониторинг антропогенных изменений; зоны экологического ущерба; методы биоиндикации; устойчивость растений; флуктуирующая асимметрия листа.

Stepanova D.S.
Savchenkova V.A.

Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical Unniversity

Planting observation

Abstract. The experience of planting observation methods, justifications for providing measures to research plantings conductions at the untoward ecological terms, adduced results of *Tilia*'s gen. leaves observation, obtained to detect fluctuating asymmetry.

Key words: observation of anthropogenic changes, environmental damage zones, methods of bio-indication, plants resistance, fluctuating asymmetry.

Введение

Термин «мониторинг» официально введен в науку на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде в 1972 г. (1). Через два года в столице Кении г. Найроби состоялось первое межправительственное совещание по мониторингу. На совещании было решено уделить первостепенное внимание мониторингу загрязнения окружающей среды (ОС) на трех уровнях – локальном,

региональном и глобальном. С 1974 г. понятие «мониторинг» вводится в русскую литературу Ю.А. Израэлем. Он предлагал понимать под мониторингом только такую комплексную систему наблюдений, оценки и прогноза, которая позволяет выделить частные изменения состояния биосферы, происходящие только под влиянием антропогенной деятельности (т.е. мониторинг антропогенных изменений).

Не испытывающие антропогенных воздействий, также представляют интерес. Они являются точкой отсчета или эталоном для сравнения с экосистемами, измененными под воздействием человеческой деятельности (1).

Согласно п. 2.4. Постановления Правительства Москвы № 743 от 10.09.2002 года, озелененные территории города подразделяются на озелененные территории:

- общего пользования - скверы, бульвары, сады, парки, озелененные полосы улично-дорожной сети;
- ограниченного пользования - озелененные территории лечебных, культурно-просветительных, детских, учебных и научных учреждений, промышленных предприятий, спортивных комплексов, жилых кварталов;
- специального назначения - территории санитарно-защитных, водоохраных, защитно-мелиоративных, противопожарных зон, кладбищ, территории вдоль автомобильных и железных дорог, ботанические, зоологические, плодовые сады, питомники, цветочно-оранжерейные хозяйства.

В Москве мониторинг за состоянием зеленых насаждений на постоянной основе осуществляется в основном на территориях общего пользования в парках, городских садах, скверах, бульварах и озелененных городских улицах.

Мониторинг на территориях ограниченного пользования проводится реже ввиду отсутствия необходимости, поскольку за состоянием растительности следят жители жилых кварталов, сотрудники учреждений и предприятий, а также сторонние организации, компетентные в вопросах озеленения.

Особого внимания заслуживает выполнение мероприятий по мониторингу зеленых насаждений зон промышленных предприятий и некоторых территорий специального назначения - санитарно-защитных зон, и территорий с высокой транспортной нагрузкой, так как на них древесно-кустарниковая растительность в наибольшей степени подвержена негативному воздействию. Регулярное наблюдение за состоянием зеленых насаждений в Москве осуществляют сотрудники ГПБУ «Мосэкомониторинг». Данные, полученные в результате мониторинга, могут указывать на неудовлетворительное состояние зеленых насаждений на территориях или вблизи объектов негативного воздействия, однако не позволяют коррелировать эти данные со степенью накопления экологического ущерба и климатическими факторами.

Конечная цель проводимых исследований – разработка рекомендаций по созданию и содержанию зеленых насаждений в зонах экологического ущерба на основе результатов оценки состояния древесно-кустарниковой растительности, почв и воздуха вблизи крупных предприятий и районах с высокой транспортной нагрузкой.

В рамках настоящей статьи изложены материалы, обработанные для достижения промежуточных результатов, а именно – измерение таксационных показателей и определение целесообразности применения метода вычисления отклонения от нормы величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических структур листа для установления корреляционной зависимости полученных показаний с уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

Обзор существующих работ

Говоря о «зеленом» мониторинге, нельзя не учесть исследования ученых МФ МГТУ им Н.Э. Баумана (Е.Г. Мозолевская, Н.К. Белова, Е.Г. Куликова, и др.), результатом которых стала разработка «Структурно-функциональной схемы организации мониторинга состояния зеленых насаждений Москвы» на основе биоморфологических признаков, данных лесопатологического мониторинга и анализа погодных условий (4).

Большой вклад в разработку и обоснование программы экологического мониторинга внес Х.Г. Якубов на основании исследований В.С. Николаевского, который подтвердил высокую чувствительность растений к газам и необходимость научного обоснования критериев чистоты воздуха для целей мониторинга и охраны природы (8). В своих собственных исследованиях, проводимых в условиях загрязнения атмосферного воздуха, Якубов доказал, что его программа мониторинга «позволяла бы не только надежно контролировать состояние природной среды, но и эффективно исправлять все нарушения и причины, их вызывающие». Для экологической оценки степени опасности загрязнения воздуха газами промышленности и автотранспорта в городе Якубовым был разработан новый биогеохимический метод расчета временных нормативов ПДК для зеленых насаждений и определены дифференцированные показатели ПДК по 7 ингредиентам. Ученым также использовались методы биоиндикации и дендрохронологические методы.

Исследования стабильности развития по показателям флуктуирующей асимметрии промеров листа в популяциях березы повислой (*Betula pendula*) проводились учеными на урбанизированных территориях Москвы, Санкт-Петербурга, Хакасии, Белгородской области, Йошкар-Олы, Якутска (2,5). В результате полученных результатов выявлено, что величина флуктуирующей асимметрии, оцениваемая по морфологическим признакам, значимо меньше для листьев растений, которые растут в местах с лучшей экологической ситуацией.

Что касается зарубежного опыта в исследованиях флуктуирующей асимметрии и её связи с качеством окружающей среды, можно сказать, что данный вопрос изучен не так детально, как российскими учеными. Однако, в Мексике и Бразилии уже несколько лет этот метод биоиндикации интересует специалистов в области экологии (10-12, 14).

Необходимо также отметить вклад ученых Китая, США, Канады и Германии, которые провели исследования 35 видов растений из 5-ти семейств и доказали, что форма и размер листьев не могут существенно влиять на показатель дисперсии по сравнению со средним значением для измерения двусторонней асимметрии листьев (13).

Методологическая часть

В целях мониторинга за состоянием зеленых насаждений в качестве объектов исследования выбраны:

- территория на пересечении МКАД и Ярославского шоссе, по статистике являющимся одним из самых загруженных;
- санитарно-защитная зона Нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) ПАО «Газпром»;
- парк Коломенское, территория вблизи завода полиметаллов (МЗП);
- территория НИЦ «Курчатовский институт».

В работе использовались следующие методы:

1. Определение отклонения от нормы величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических структур листа (метод Л.В. Дорогань, модифицированный метод М.С. Миллера) (8), в котором предварительно для древесной породы определяется переводной коэффициент, а затем путем измерения длины и ширины производят массовые вычисления листьев (фенологический метод). Для обеспечения достоверности результатов измерения были обработаны с помощью программного обеспечения.

2. Определение таксационных показателей (вид растений, жизненная форма, плотность и проекция крон деревьев, высота и диаметр ствола, категория визуального состояния, декоративность, дефолиация и дехромация листьев, суховершинность и др.) для оценки санитарного состояния деревьев по 6-ти (хвойные) и 7-ми (лиственные) бальной шкале категорий состояния (метод М.Е. Ткаченко и Н.П. Анучина) (8).

Некоторыми учеными была опровергнута результативность метода определения величины флуктуирующей асимметрии, однако по сей день данный способ определения качества окружающей среды является бюджетным и более доступным. При проведении исследования в рамках мониторинга были учтены недостатки, выявленные в процессе предыдущих исследований, а также проработаны варианты, позволяющие улучшить имеющиеся результаты.

Результаты

По результатам анализа мероприятий для разработки систем мониторинга зеленых насаждений в период с 1997 по 2023 годы учеными были разработаны различные методы его организации на территориях общего пользования и в районах с высокой транспортной нагрузкой. Однако, данных о зеленых насаждениях вблизи промышленных предприятий до сих пор недостаточно, что существенно осложняет процесс формирования единого подхода к созданию системы мониторинга за состоянием растительности в крупных городах.

Как известно, наиболее «информативным» вегетативным органом для детального изучения состояния деревьев считается лист растения. В листьях, при антропогенных воздействиях, происходят морфологические изменения (уменьшение площади листовой пластины, появление асимметрии).

Обзорный анализ научных исследований показал, что при оценке качества среды чаще всего используют березу, однако по данным отчета Росстата за 2022 год преобладающей породой, участвующей в озеленении Москвы, является липа

(27,4%). В связи с этим становится возможным использование данной породы в качестве индикатора загрязнения окружающей среды.

Распределение средней площади листьев липы по пробным площадям представлено на рисунке 1:

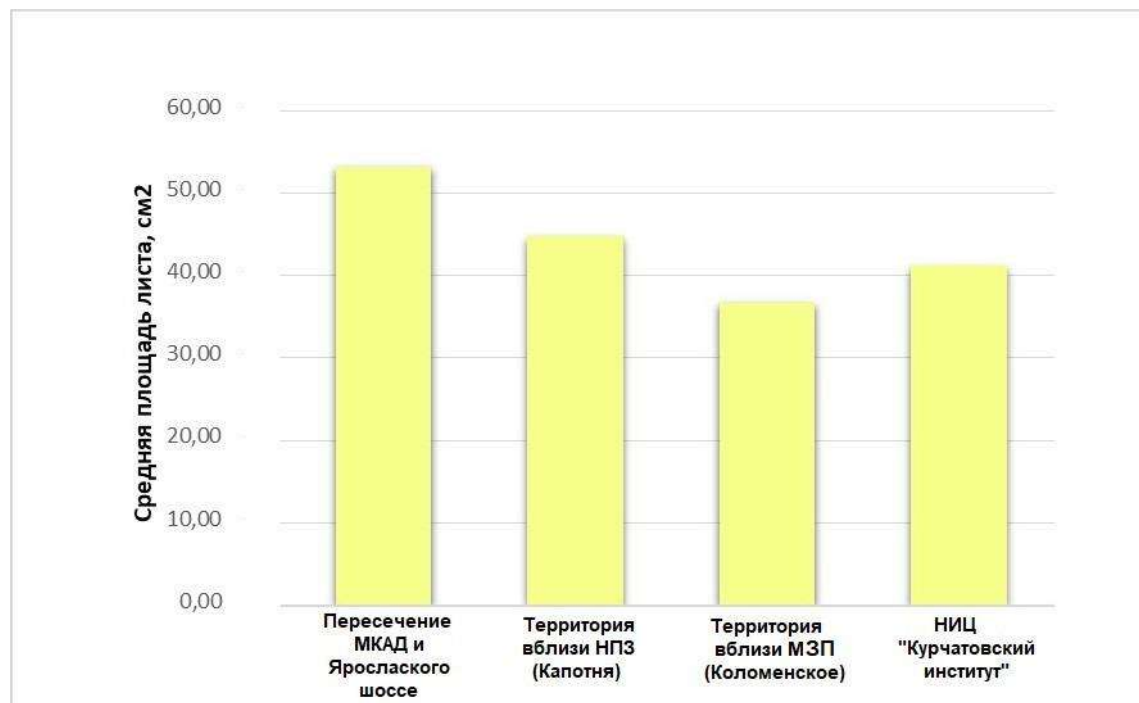


Рисунок 1. Распределение средней площади листа липы

Из диаграммы видно, что наибольшее значения листовой пластины на пробной площади (далее – ПП) рядом с МКАД – 53,20 см². Наименьшее значение в Коломенском парке рядом с МЗП – 36,66 см². На территориях вблизи НПЗ в Капотне и НИЦ «Курчатowski институт» площади листа соответственно 46,69 и 41,08 см².

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод, что липа имеет существенные отличия в размерах вегетативного органа. Это означает, что данная порода в различных административных округах Москвы и вблизи различных источников загрязнения имеет разную поглотительную способность и газоустойчивость. Поэтому предполагается, что состояние окружающей среды в разных частях мегаполиса различное ввиду присутствия разного рода объектов негативного воздействия. Это можно предметно проверить на основании результатов оценки флуктуирующей асимметрии листовых пластин.

В целях обеспечения достоверности результатов оценки в работе использован коэффициент вариации, позволяющий судить о возможности применения методики флуктуирующей асимметрии для определения качества окружающей среды и влияние антропогенных факторов на листьях липы, так как если вариабельность морфометрического признака древесной породы соответствует высокому уровню изменчивости (больше 25%), она определяет

его непригодность в качестве биоиндикационного вида, и снижает его практическую ценность (3).

Значение коэффициентов вариации листовой пластинки показало, что признаки: расстояние между основаниями первой и второй жилки с правой и левой стороны, – имеют высокий уровень изменчивости (больше 25%). А значит эти показатели не пригодны для определения флуктуирующей асимметрии. Остальные факторы характеризуются низкими (до 10 %) и средними (11-25%) значениями коэффициента вариации, что свидетельствует о низком уровне их изменчивости, а, следовательно, о пригодности использования данных.

Вычислен средний показатель флуктуирующей асимметрии для каждого объекта, который приведен в таблице 1:

Средние значения флуктуирующей асимметрии листьев липы на участках пробных площадей

Пересечение МКАД и Ярославского шоссе	Территория Вблизи НПЗ (Капотня)	Территория Вблизи МЗП (Парк «Коломенский»)	НИЦ «Курчатовский институт»
0,071	0,068	0,060	0,066

Из таблицы видно, что наибольший показатель асимметрии листьев липы наблюдается на ПП вблизи МКАД, наименьший – на участке в парке «Коломенский».

Обсуждение

В ходе промежуточного исследования выявлена зависимость состояния деревьев липы мелколистной (*Tilia cordata*) в неблагоприятных экологических условиях. Посредством мониторинга состояния вблизи одной из крупных транспортных развязок, а также рядом с предприятиями высокого класса опасности, была выявлена закономерность в развитии листовых пластин, которая указывает на наличие вредных веществ в атмосферном воздухе и определяет дальнейший ход исследования, направленного на проектирование систем озеленения в условиях текущей ситуации и прогноза изменений окружающей среды. Выявлен характер влияния загрязнителей на таксационные показатели, жизненное относительное состояние древостоев, что представляет научную и практическую ценность.

Заключение

Результаты исследования, в рамках которого проведен мониторинг деревьев и получены биоиндикационные показатели, позволяют на примере липы проследить динамику изменения биоморфологических признаков растений и их зависимость от показателей качества атмосферного воздуха в наиболее экологически неблагоприятных условиях. Сочетание метода фитоиндикации и таксационного (описательного) метода позволят выявить закономерности развития зеленых насаждений, а также спрогнозировать их состояния в условиях высоких темпов урбанизации. Результаты исследования помогут в

формировании Комплексной системы мониторинга качества окружающей среды, реализуемой Национальным проектом «Экология», целью которой является создание цифровой модели экологического мониторинга состояния окружающей среды на территории Российской Федерации, включающую сеть сбора данных о состоянии компонентов природной среды, объекты негативного воздействия на окружающую среду и объекты накопленного вреда окружающей среде.

Учитывая изложенное, исследование будет продолжено.

Список литературы

1. Бечина Д.Н., Азарова О.В. Мониторинг системы зеленых насаждений: краткий курс лекций для студентов II курса магистратуры направления подготовки 35.04.09 «Ландшафтная архитектура». Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2016. 47 с.
2. Захаров В.М., Шадрин Е.Г., Турмухаметова Н.В., Иванцова Е.Н., Шикалова Е.А., В. Ю. Солдатова В.Ю., Шарова Н.А., Трофимов И.Е. Оценка состояния растений по стабильности развития в естественных и антропогенных условиях (флуктуирующая асимметрия признаков листа березы повислой *Betula pendula* Roth). Известия РАН. Серия биологическая, №2, 2020 г. С. 191-196.
3. Кокорина Н.В., Татаринцев П.Б. Методические вопросы выбора тест объектов биоиндикации с использованием алгоритма сравнения коэффициента вариации // Вестник Томского государственного университета. 2010. Т.11, №3. С.141—150.
4. Мозолевская Е.Г., Белова Н.К., Куликова Е.Г., Шарапа Т.В., Липаткин В.А., Сураппаева В.М. Общегородская конференция «Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы». М.: Прима-Пресс, 1997 г. С. 16 – 59.
5. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А. О возможности биоиндикации окружающей среды по флуктуирующей асимметрии оптической плотности листьев растений. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, №1 (69), 2023 г. С. 563–575.
6. Соколов А.С., Экология урбанизированных территорий: материалы российско-китайской конференции. Брянск: Брян. гос. инженер.-технол. ун-т. 2017. С. 153-156.
7. Шлапакова С.Н., Полтьева А.С. Экология урбанизированных территорий: материалы российско-китайской конференции. Брянск: Брян. гос. инженер.-технол. ун-т. 2017. С. 59-64.
8. Якубов Х.Г. Экологический мониторинг состояния зеленых насаждений в крупном городе на примере г. Москвы: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 2006. 56 с.
9. Gabriel Lobregat, Miriam Lúcia Lages Perilli, Frederico de Siqueira Neves. Fluctuating asymmetry, leaf thickness and herbivory in *Tibouchina granulosa*: an

- altitudinal gradient analysis // *Arthropod-Plant Interactions*. 2018. Vol. 12. P. 277-282. doi:10.1007/s11829-017-9568-7.
10. Jean Carlos Santos, Tatiana G. Cornelissen. How many leaves are enough? The influence of sample size on estimates of plant developmental instability and leaf asymmetry // *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 89. P. 912-924. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.12.060.
 11. Joan Sebastian Aguilar-Peralta, Antonio González-Rodríguez, Yurixhi Maldonado-López, Marcílio Fagundes, Maurício L. Faria, Luis Daniel Ávila-Cabadilla, Mariana Yolotl Álvarez-Añorve & Pablo Cuevas-Reyes. Contrasting patterns of morphology, fluctuating asymmetry and leaf herbivory in three plant species of different successional stages of a tropical dry forest // *Trees*. 2020. Vol 34. P.1075–1086. doi:10.1007/s00468-020-01982-z.
 12. Xiali Guo, Gadi V.P. Reddy, Jiayan He, Jingye Li, Peijian Shi. Mean-variance relationships of leaf bilateral asymmetry for 35 species of plants and their implications // *Global Ecology and Conservation*. 2020. Vol. 23. E 01152.
 13. Yurixhi Maldonado-López, Marcela Sofía Vaca-Sánchez, Armando Canché-Delgado, Silvia Ecaterina García-Jaín, Antonio González-Rodríguez. Leaf herbivory and fluctuating asymmetry as indicators of mangrove stress // *Wetlands Ecology and Management*. 2019. Vol. 27. P. 571-580. doi:10.1007/s11273-019-09678-z.

References

1. Bechina D.N., Azarova O.V. Monitoring of the green space system: a short course of lectures for students of the second year of the Master's degree in the field of training 35.04.09 «Landscape architecture». Saratov: FSBEI of HE «Saratov SAU». 2016. P. 47.
2. Zaharov V.M., Shadrina E.G., Turmuhametova N.B., Ivantsova E.H., Shikalova E.A., Soldatova V.U., Sharova N.A., Trofimov I.E. Assessment of the state of plants by the stability of development in natural and anthropogenic conditions (fluctuating asymmetry of the characteristics of the hanging birch leaf *Betula pendula* Roth). *News of the Russian Academy of Sciences. Biological series*. 2020. Vol. 2. P. 191-196.
3. Kokorina N.V., Tatarintsev P.B. Methodological issues of selection of test objects of bioindication using the algorithm of comparison of the coefficient of variation // *Bulletin of Tomsk State University*. 2010. T.11. Vol. 3. P. 141–150.
4. Mozolevskaya E.G., Belova N.K., Kulikova E.G., Sharapa T.V., Lipatkin V.A., Surappaeva V.M. Citywide conference "Problems of maintenance of green spaces in Moscow". Moscow: Prima-Press. 1997 г. P. 16 – 59.
5. Rakut'ko E.N., Rakut'ko S.A. On the possibility of bioindication of the environment by the fluctuating asymmetry of the optical density of plant leaves. *Proceedings of the Nizhnevolszhsy agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education*. 2023. Vol. 1(69). P. 563–575.

6. Sokolov A.S., Ecology of urbanized territories: materials of the Russian-Chinese conference. Bryansk: Bryansk State Engineering and Technological University. 2017. P. 153-156.
7. Shlapakova S.N., Polt'eva A.S. Ecology of urbanized territories: materials of the Russian-Chinese conference. Bryansk State Engineering and Technological University. Bryansk. 2017. P. 59-64.
8. Yakubov H.G. Ecological monitoring of the state of green spaces in a large city on the example of Moscow: abstract of the dissertation for the degree of candidate of biological sciences. Moscow. 2006. P. 56.
9. Gabriel Lobregat, Miriam Lúcia Lages Perilli, Frederico de Siqueira Neves. Fluctuating asymmetry, leaf thickness and herbivory in *Tibouchina granulosa*: an altitudinal gradient analysis // *Arthropod-Plant Interactions*. 2018. Vol. 12. P. 277-282. doi:10.1007/s11829-017-9568-7.
10. Jean Carlos Santos, Tatiana G. Cornelissen. How many leaves are enough? The influence of sample size on estimates of plant developmental instability and leaf asymmetry // *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 89. P. 912-924. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.12.060.
11. Joan Sebastian Aguilar-Peralta, Antonio González-Rodríguez, Yurixhi Maldonado-López, Marcílio Fagundes, Maurício L. Faria, Luis Daniel Ávila-Cabadilla, Mariana Yolotl Álvarez-Añorve & Pablo Cuevas-Reyes. Contrasting patterns of morphology, fluctuating asymmetry and leaf herbivory in three plant species of different successional stages of a tropical dry forest // *Trees*. 2020. Vol 34. P.1075–1086. doi:10.1007/s00468-020-01982-z.
12. Xiali Guo, Gadi V.P. Reddy, Jiayan He, Jingye Li, Peijian Shi. Mean-variance relationships of leaf bilateral asymmetry for 35 species of plants and their implications // *Global Ecology and Conservation*. 2020. Vol. 23. E 01152.
13. Yurixhi Maldonado-López, Marcela Sofía Vaca-Sánchez, Armando Canché-Delgado, Silvia Ecaterina García-Jaín, Antonio González-Rodríguez. Leaf herbivory and fluctuating asymmetry as indicators of mangrove stress // *Wetlands Ecology and Management*. 2019. Vol. 27. P. 571-580. doi:10.1007/s11273-019-09678-z.

Инновационное воспроизводство высокоурожайных кедровников

Аннотация. Кедровники России, мировые источники ореха и масла, в настоящее время не удовлетворяют возросшие потребности в этих продуктах из-за вырубki высокоурожайных насаждений, трудной доступности, невысокой урожайности сохранившихся, низкой рентабельности орехопромысла. Возрождение их, важного экономического ресурса страны, возможно при использовании инновационного метода – восстановления высокоурожайных насаждений путем закладки прививочных промышленных орехопродуктивных плантаций на качественно новой, генетико-селекционной основе. Разработанные современные отечественные биоэкологические основы и технологии их создания обеспечивают максимально возможную реализацию биологической урожайности ценных генотипов-клонов и сортов-клонов по семенной и пыльцевой продуктивности в искусственно формируемых насаждениях. Их состав и размещение на плантации устанавливается с учетом эффекта репродуктивного взаимодействия особей различного полового типа и урожайности, биоэкологии развития генеративных органов, дальности разлета основной массы пыльцы, избирательности оплодотворения. Лучшими объектами для заготовки черенков при создании плантаций являются генотипы-клоны и плюсовые деревья – генотипы в зоне экологического оптимума кедровника сибирского – в низкогорье и среднегорье Алтае-Саянской горной области (400-1100 м над уровнем моря) и южной тайге Западной Сибири. Плантации создают посадкой привитых на кедровый подвой или непривитых саженцев кедровника сибирского, которые позже прививают, с размещением в зоне оптимума вида 8 x 8...10 x 10 м, в других регионах – 8 x 7... 7 x 6 м. Промышленный урожай на плантации (70 x 100 кг/га) появляется в 11-14 лет. К 20 годам достигает 150-200 кг/га. В 45-50 лет сопоставим с урожайностью лучших 140-180-летних припоселковых кедровников (450-600 кг/га). Использование ценного генофонда кедровника сибирского и современных отечественных технологий позволяет восстановить за 30-40(50) лет высокоурожайные кедровники с регулярной производительностью 6-7 тыс. т орехов.

Ключевые слова: воспроизводство, высокоурожайные кедровники, биологическая урожайность

Innovative reproduction of high-yielding stone pine forests

Abstract. Russian cedar forests, world sources of walnuts and oil, currently do not satisfy the increased demand for these products due to the cutting of high-yielding plantations, difficult accessibility, low yields of those that have survived, and low profitability of the nut industry. Their revival, an important economic resource of the country, is possible using an innovative method - the restoration of high-yielding plantations by laying grafting industrial walnut plantations on a qualitatively new, genetic and breeding basis. The developed modern domestic bioecological foundations and technologies for their creation provide the maximum possible realization of the biological yield of valuable clone genotypes and clone varieties in terms of seed and pollen productivity in artificially formed plantations. Their composition and placement on the plantation is established taking into account the effect of reproductive interaction of individuals of different sexual types and yields, the bioecology of the development of generative organs, the range of dispersion of the bulk of pollen, and the selectivity of fertilization. The best objects for harvesting cuttings when creating plantations are genotypes-clones and plus trees - genotypes in the zone of ecological optimum of the Siberian pine - in the low and middle mountains of the Altai-Sayan mountain region (400-1100 m above sea level) and the southern taiga of Western Siberia. Plantations are created by planting grafted onto Siberian cedar rootstock or ungrafted seedlings of Siberian cedar, which are later grafted, with placement in the optimal zone of the species 8 x 8 ... 10 x 10 m, in other regions - 8 x 7 ... 7 x 6 m. Industrial crop on the plantation (70 x 100 kg/ha) at 11-14 years old. By the age of 20 it reaches 150-200 kg/ha. At 45-50 years old, it is comparable with the yield of the best 140-180-year-old cedar forests near settlements (450-600 kg/ha). The use of the valuable Siberian stone pine gene pool and modern domestic technologies makes it possible to restore high-yielding stone pine forests with a regular productivity of 6-7 thousand tons of nuts in 30-40 (50) years.

Key words: Siberian cedar; walnut plantations; clone genotypes; harvest.

Введение

Кедровники России более 300 лет являлись главным производителем орехов – значимого экономического ресурса страны и постоянно востребованного экспортного продукта. В настоящее время неограниченная потребность в них и в кедровом масле в России и в зарубежных странах не удовлетворяется из-за резкого снижения орехозаготовок: 1-2(10) тыс. т в редкие высокоурожайные годы вместо регулярных 15-20 тыс.т до 60-х годов прошлого века.

Дестабилизация кедрового орехопромысла связана с бесхозяйственным массовым уничтожением высокоурожайных (300-400 кг/га), легко доступных таежных кедровников на площади более 600 тыс.га, невысокой семенной

продуктивности (60-120 кг/га) (4, с. 121), трудной доступностью и старением сохранившихся. Биологический урожай орехов в насаждениях, достигших апогея семеношения, постоянно снижается, и в ближайшие 50-70 лет они станут нерентабельными для орехопромысла.

Вот почему назрела необходимость в создании новых объектов производства кедровых орехов для настоящих и будущих поколений. Возрождение былого величия регулярного и рентабельного кедрового орехопромысла, как уникального природного достояния, национальной гордости России и важного ресурса в ее экономике, возможно при использовании инновационного метода воспроизводства высокоурожайных кедровников – закладки прививочных орехопродуктивных плантаций на качественно новой, генетико-селекционной основе.

Литературный обзор

Преимущества получения на целевых плантациях в большом объеме, в короткие сроки рентабельной лесной и сельскохозяйственной продукции убедительно доказал мировой опыт плантационного лесоводства. В настоящее время более 34 % древесины в мире (1 млрд. м³ из 3,4 млрд. м³) заготавливается на лесосырьевых плантациях, и площадь их ежегодно возрастает (15, с. 19; 17, с. 380; 18, с. 353). Современное развитие лесной отрасли с более высокой добавленной стоимостью связывается не с расширением используемой площади лесов, а с инвестиционным методом – плантационным лесоводством (1, с. 70).

На целевых плантациях получают не только древесную, но и недревесную продукцию. В малолесных районах на заброшенных сельскохозяйственных землях перспективна закладка энергетических лесных плантаций на древесно-кустарниковых и углерододепонирующих быстрорастущих пород (3, с. 43; 5, с. 165). В Краснодарском и Ставропольском краях, на Северном Кавказе, в Ростовской области России с 50-х годов XX века созданы промышленные плантации ореха грецкого на десятках тысяч га. В Краснодарском крае в 10-летнем возрасте, при урожае 5 кг с одного дерева, валовый сбор орехов составляет 500 кг/га. В 20-летнем возрасте, при урожае 20 кг с дерева, - 2000 кг/га. Он удваиваются к 40 годам. Норма рентабельности превышает 300 %. Капитальные затраты на создание ореховой плантации полностью окупаются через 10-12 лет после посадки (14, с. 24, 84).

Плантационное ореховодство кедра сибирского в России зародилось в семидесятых годах XX века, с началом создания генетико-селекционной базы в Республике Алтай – генетическом центре происхождения, зоне экологического оптимума и повышенного полиморфизма породы. Здесь, при максимальной концентрации ценного генофонда кедра сибирского и благоприятных почвенно-климатических условий, достигается максимальный экономический эффект при получении разнообразной кедровой продукции на целевых плантациях.

В Северо-Восточном Алтае отобрано 242 высокоурожайных (плюсовых) деревьев по семенной продуктивности, 75 % из них при клоновых испытаниях в одинаковых условиях низкогорья (400-800 м над уровнем моря) подтвердили свои высокие свойства. Отселектировано по семенной и пыльцевой

продуктивности 56 шт. генотипов-клонов, 5 сортов-клонов и кандидатов в сорта-клоны по урожайности. Среднемноголетний урожай семян у генотипов-клонов превышает показатели средних деревьев насаждений не менее, чем в 1,7 раза, у сортов-клонов они на 20-30 % выше значений лучших генотипов-клонов (13, с. 142).

В других регионах Сибири Р. Н. Матвеевой и О. Ф. Буторовой изучено и детально проанализировано фенотипическое разнообразие и изменчивость плюсовых деревьев кедров сибирского по урожайности, параметрам кроны, размерам шишек, числу семян в них. Отселектированы экземпляры с высоким количеством шишек, массой 1000 шт. семян, удельной энергией семеношения, размером шишек. Их в первую очередь рекомендуется размножить вегетативным путем на плантационных культурах для получения кедрового ореха (6, с. 145). С целью выделения перспективных особей кедров сибирского для создания орехопродуктивных плантаций изучено в пригородной зоне Красноярского Края изменчивость 37-38-летних потомств плюсовых деревьев породы различного географического происхождения по семеношению и структурным признакам урожая. Отобраны экземпляры с высоким их значением (7, с. 74).

В Приморском крае в рамках нацпроекта «Экология» разработана Региональная программа сохранения лесов (2021-2032 гг) путем лесовосстановления отселектированным материалом. Она предусматривает отбор и аттестацию деревьев и насаждений кедров корейского на орехопродуктивность, создание лесосеменных и маточных плантаций, архивов клонов плюсовых деревьев, испытательных культур для обеспечения лесных питомников семенами улучшенной селекционной категории (10, с. 148).

Результаты

Современные отечественные научно-обоснованные, биоэкологические основы и технологии создания высокоурожайных кедровых орехопродуктивных плантаций разработаны (13, с. 171). Они обеспечивают максимально возможную реализацию биологической урожайности ценных генотипов-клонов и сортов-клонов в искусственно формируемых насаждениях. Для ускоренного получения кедровых орехов плантации закладывают на территориях и землях различного пользования не ниже I-II(III) класса бонитета.

Основой для создания прививочных орехопродуктивных плантаций являются плюсовые деревья кедров сибирского по генотипу, т.е. фенотипы, подтвердившие высокую урожайность при клоновом испытании, и их вегетативное потомство – генотипы-клоны. Черенки для прививки заготавливают, прежде всего, с плодоносящих генотипов-клонов. Транспортная доступность клоново-испытательных плантаций плюсовых деревьев и архивов их клонов, сравнительно небольшая высота прививок (в 30 лет – 8 м, в 40 – 10 м) имеют существенные преимущества по сравнению с удаленными в горноалтайской кедровой тайге высокими (27-28 м) высокоурожайными их родителями.

Горноалтайские 40-летние генотипы-клоны и сорта-клоны отличаются ранним (с 3-4 лет), регулярным семеношением (за последние 27 лет – 19-23 урожая, за последние 7 лет – 5-7), высокими среднемноголетними (1,9-2,6 кг у генотипов-клонов, 2,2-3,5 кг у сортов-клонов) и максимальными (соответственно, 4,0-4,2 кг и 6,3-7,2 кг) урожаями семян на прививке. У них высокая восстановительная и длительная репродуктивная способность: двухлетние высокоурожайные (3,1-4,2 кг) и среднеурожайные (1,7-2,0 кг) циклы у генотипов-клонов чередуются с однолетним интервалом. У регулярно плодоносящего сорта-клона «Кедроградский» с такой же периодичностью чередуются 4-летние высокоурожайные (3,2-5,2 кг) и трехлетние, повышенной урожайности (2,3-3,0 кг) циклы. Ветви в течение 20-25 лет сохраняют репродуктивную способность. Это – высоко генетически обусловленный показатель высокой урожайности генотипа.

Индивидуальные и региональные особенности семеношения, урожайность, структурные признаки плодоношения материнских деревьев сохраняются в прививке. Поэтому лучшим объектом для заготовки черенков при создании плантаций являются генотипы-клоны и плюсовые деревья – генотипы в зоне экологического оптимума кедра сибирского в низкогорье и среднегорье Алтае-Саянской горной области (400-1100 м над уровнем моря) и в южной тайге Западной Сибири. По мере удаления от нее семенная продуктивность материнских деревьев постепенно снижается. Самые низкие ее значения – на краю естественного ареала породы.

Высокоурожайные кедровники создаются на плантации отселектированными по семенной и пыльцевой продуктивности клонами плюсовых деревьев: 1 – высокоурожайными генотипами-клонами и сортами-клонами, 2 – среднеурожайными, с высокими товарными признаками семян (крупношишечные, многосемянные, крупносемянные) с высокой пыльцевой продуктивностью и оплодотворяющей способностью клонами, развивающиеся с первыми синхронно. Их состав и размещение на плантации устанавливается с учетом физиологической разнокачественности (половой сексуализации), эффекта репродуктивного взаимодействия особей различной сексуализации и урожайности, биологии развития генеративных органов, дальности разлета основной массы пыльцы, избирательности оплодотворения и других факторов (12, с. 51).

Высокий урожай на орехопродуктивной плантации формируется в результате эффективного переопыления клонов различного полового типа и урожайности. Разнокачественность генотипов обеспечивает максимальный эффект репродуктивного взаимодействия. Установлено, что при переопылении высокоурожайных клонов женской сексуализации с низкой пыльцевой способностью, 100 %-ная скрещиваемость отмечается лишь в 38 % случаев, при очень высоком уровне изменчивости ($C=74-90$ %). При опылении их среднеурожайными, смешанного полового типа кедром, с функционально высокой пыльцевой продуктивностью, стабильная ($C=12-36$ %) высокая скрещиваемость установлена в 64 % случаев (11, с. 67). Ее высокие значения при взаимодействии генотипов с резко различающимися свойствами установлена и

для других растений (19, с. 388), что свидетельствует об общебиологическом характере данного явления. Поэтому в районах, где отсутствуют надежные источники естественного опыления (близко расположенные плодоносящие кедровые насаждения или отдельные деревья породы), для получения промышленных урожаев с раннего возраста, на плантации следует размещать клоны различного полового типа и урожайности: высоко- и среднеурожайные, с синхронными сроками цветения и опыления, в соотношении 3:1 или 4:1. На обеспеченных кедровой пылью территориях и участках, в районах естественного ареала и успешной интродукции, высаживают только высокоурожайные клоны.

Орехопродуктивные плантации создают посадкой привитых (6-9 лет) или непривитых саженцев кедра сибирского. Последние через 1-2 года прививают черенками с отселектированных клонов в соответствии со схемой размещения. Использование в качестве подвоя сосны обыкновенной ограничено: прививки кедра сибирского на ней недолговечны. Большая часть из них погибает в течение 30-50 лет из-за несовместимости: перерастания или отторжения. В первом случае, в результате более длительной вегетации, диаметр кедрового привоя со временем превышает диаметр подвоя, и под тяжестью мощно развитой кроны прививка обламывается. Во втором, в месте соединения компонентов прививки постепенно образуется сплошная по диаметру ствола засмоленная прослойка, нарушающая нормальное поступление питательных веществ, и дерево засыхает. В подзоне северных степей Красноярского края у 24-летних прививок кедра сибирского на сосну обыкновенную отмечено перерастание в 89 % (8, с. 377).

Для раннего использования всего репродуктивного потенциала каждого генотипа, кедры на орехопродуктивной плантации с молодого возраста и в течение всей жизни должны размещаться свободно. При редком размещении у них формируется низко опущенная, хорошо развитая крона (9, с. 17; 13, с. 22). С учетом ее развития у просторно стоящих деревьев в различных природно-климатических условиях и устанавливается расстояние между ними в рядах и между рядами, и количество растений на 1 га. В зоне экологического оптимума кедры размещаются по схемам 8x8, 8x10, 10x10 м (100-156 шт/га). В подзоне средней тайги Сибири – 8x8 м (156 шт/га). В условиях интродукции в европейской части России в подзоне хвойно-широколиственных лесов – 8x8 м, южной тайги – 7x8 м (180 шт/га), средней тайги – 7x7 м (200шт/га) или 7x6 (240 шт/га).



Рисунок. На 11-летней прививке клонового сорта кедра сибирского созревает 0,5-0,6 кг орехов. Фото Е. В. Титова

Выгодно использовать для создания орехопродуктивных плантаций редкостойные (500-1000 шт/га), транспортно и технически доступные для качественной прививки (высотой до 1,7 м) возрастные (13-17 лет) кедровые лесные культуры. Крупные подвои кедра сибирского стимулируют ускоренный рост и формирование на 3-5 лет раньше повышенного урожая на привое. Это связывается с более энергичным снабжением привоя питательными веществами возрастным, нежели молодым подвоем (16, с. 787). Со временем непривитые кедры удаляют.

Первый промышленный урожай (70-100 кг/га) на орехопродуктивных плантациях (180 прививок) формируется в 11-14 лет (рис.), на 20 лет раньше, чем в припоселковых кедровниках и на 50-60 лет быстрее, чем в таежных. В 20 лет он достигает 150-200, в 30 – 320-400, при использовании сортов-клонов – 500-600 кг/га, в высокоурожайные годы – 1225 кг/га. В 45-50 лет формируется урожай (450-600 кг/га), сопоставимый с лучшими 140-180-летними припоселковыми кедровниками (13, с. 202). То есть, плантационное лесовыращивание позволяет значительно ускорить получение в большом объеме высокопродуктивной продукции (2, с. 7).

Затраты на создание плантации (ориентировочно, 360-400 тыс.руб/га) в настоящее время окупаются при реализации неочищенного кедрового ореха через 24-27 лет, очищенного ядра – 16-17 лет, кедрового масла и жмыха – 13-15 лет (13, с. 208).

Обсуждение

В России плантационное выращивание кедра сибирского на генетико-селекционной основе было предусмотрено государственной программой

«Кедр», утвержденной Минлесхозом РСФСР 08.07.1991 г. Во всех кедровых регионах Сибири успешно создавалась постоянная лесосеменная база породы, обеспечивающая к 2000 году заготовку на ней до 50 % от общего количества семян. К середине 90-х годов прошлого века было отобрано более 1 тыс шт. плюсовых деревьев по различным селектируемым признакам, заложено более 120 га клоново-испытательных плантаций и архивов клонов, на которых позже отселектировано по семенной и пыльцевой продуктивности около 100 шт. генотипов-клонов, 2 высокоурожайных сорта-клона и более 10 шт. кандидатов в сорта-клоны. Определен фонд доступных лесных кедровых культур для использования в качестве подвоя. В начале 2000-х годов разработаны оригинальные отечественные технологии по формированию высокоурожайных орехопродуктивных плантаций. То есть, в стране за государственный счет созданы благоприятные условия для закладки промышленных кедровых плантаций, гарантирующих регулярное получение больших объемов орехов: выявлен ценный генофонд кедров сибирского для клонирования, определены объекты и разработано научно-методическое обеспечение для их формирования.

К сожалению, до сих пор эти предпосылки не используются государством. Исключительное право на выращивание лесной плодовой продукции (создание плантаций и получение орехов) предоставлено предпринимателям (Лесной Кодекс РФ, ст. 39, п. 1). Но плантации ими не создаются из-за длительной окупаемости затрат (15-20 лет). Лишь единицы испытывают финансовые и правовые риски. Одним из них является нарушение запрета на выращивание древесных растений на заброшенных сельскохозяйственных землях, площадь которых превышает 13 млн. га (З, с. 43). В сложившейся ситуации и в связи с ожидаемым потеплением климата, эти земли могут служить важным экологическим резервом для повышения уровня депонирования углерода при создании на них быстрорастущих и эффективно поглощающих углекислый газ древесных пород. К последним принадлежит кедр сибирский. Углерододепонирующая способность этой вечнозеленой породы, благодаря густой, насыщенной ветвями с пятихвойной многолетней хвоей побегами кроны, в 1,7 раза выше, чем у сосны обыкновенной. Являясь главной орехоплодовой породой России, кедр сибирский должен быть включен в реестр пород, используемых при создании орехопродуктивных плантаций на заброшенных сельскохозяйственных землях.

Создание промышленных кедровых плантаций инновационным методом эффективно возможно лишь при государственном регулировании, планировании, выполнении и финансировании конкретных задач, осуществляемых Федеральными государственными учреждениями (лесничествами) на землях государственного лесного фонда. Это позволит России снова стать единственным в мире надежным производителем уникальных таежных продуктов Сибири, важного ресурса ее экономики – кедрового ореха и кедрового масла.

Заключение

Инновационный метод создания орехопродуктивных кедровых плантаций отселектированным материалом позволяет восстановить высокоурожайные

кедровники на значительной площади в ареале породы и увеличить ее в районах успешной интродукции вида.

Предлагаемые технологии создания плантаций, с размещением клонов различной сексуализации и семенной продуктивности, обеспечивает максимальную реализацию их потенциальной урожайности, раннее (в 11-14 лет) и ускоренное, на 50-100 лет, по сравнению с лучшими припоселковыми кедровниками, получение высоких урожаев кедровых орехов.

Использование ценного генофонда кедра сибирского и современных отечественных технологий формирования высокоурожайных орехопродуктивных плантаций позволяет создать в стране за 30-40(50) лет надежную дополнительную к формируемым рубкам ухода в молодняках кедросадов базу для регулярной заготовки кедровых орехов (6-7 тыс. т), объемы которой будут ежегодно возрастать при длительном периоде эксплуатации (не менее 80-100 лет).

Список литературы

1. Большаков Н. М. 2022 Воспроизводство совокупного капитала в лесном секторе экономики. Сыктывкар: СЛИ 236
2. Братилова Н.П., Калагин В. Н., Гришлова М. В., Коновалова Д. А., Лапшова М. С. 2020 Эндошвенная изменчивость показателей сосны кедровой корейской на плантации *Хвойные бореальной зоны* **38(1-2)** 7-11
3. Давтян А. Б., Григорьева О. И., Григорьев И. В. 2022 Энергетические лесные плантации для эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения в РФ *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн*. Минск 42-45
4. Данченко А. М., Бех И. А. 2010 Кедровые леса Западной Сибири. Томск: Томский гос. университет 424
5. Жижин С. М., Годовалов Г. А. 2021 Бывшие сельскохозяйственные угодья как резерв повышения лесистости. Хабаровск: ДальНИИЛХ 162-166
6. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. 2000 Генетика, селекция, семеноводство кедров сибирского. Красноярск: СибГТУ 243
7. Матвеева Р. Н. Буторова О. Ф., Братилова Н. П., Пастухова А. М., Родин А. В. 2000 Изменчивость, отбор семенного потомства экотипов, плюсовых деревьев и формирование плантационных культур кедровых сосен в пригородной зоне Красноярска. Красноярск: СибГТУ 268
8. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. 2022 Исследования по выращиванию сосны кедровой сибирской за многолетний период *Хвойные бореальной зоны* **40(5)** 374-380
9. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Гришлов Д. А. 2023 Декапатация сосны кедровой сибирской на плантациях в пригородной зоне Красноярска. Красноярск: СибГТУ 200
10. Олифиренко А. В. 2021 Программа лесоразведения в Приморском крае *Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока*. Хабаровск 142-150

11. Титов Е. В. 2006 Гибридизация кедра сибирского. Воронеж: ВГЛТА 128
12. Титов Е. В. 2020 Стратегия повышения объемов орехозаготовок кедра сибирского *Хвойные бореальной зоны* **38(1-2)** 48-52
13. Титов Е. В. 2021 Орехопродуктивные кедровые плантации и лесосады. Воронеж: ВГЛТУ 267
14. Щепотьев Ф. Л., Рихтер А. А., Ирошников А. И. 1978 Орехоплодовые лесные культуры. Москва: Лесная промышленность 256
15. Шутов И. В. Маркова И. А. 2007 Плантационное лесоводство. Санкт-Петербург: Политехнический университет 366
16. Ahlgren C. E. 1962 Some factors influencing survival, growth and flowering of intraspecific and interspecific pine grafts *J. Forest* **60** 785-789.
17. Brown C., Ball J. 2000 World View of Plantation Grown Wood *Forests and Society* Kuala Lumpur, Malaysia **1** 377-389
18. Sedjo R.A. 2000 The Social and Economic Impacts of Plantation *Forests Forests and Society* Kuala Lumpur, Malaysia **1** 351-355.
19. Singh, A., Singh H. 1978 Heterosis and its components for yield in chili *Jindian J. Agr.Sci.* **48(7)** 387-389.

References

1. Bolshakov N. M. 2022 Reproduction of total capital in the forestry sector of the economy. Syktyvkar: SLI. 236
2. Bratilova N.P., Kalagin V.N., Grishlova M.V., Konovalova D.A., Lapshova M.S. 2020 Endogenous variability of indicators of Korean pine on the plantation Coniferous boreal zone 38(1-2) 7-11
3. Davtyan A. B., Grigoryeva O. I., Grigoriev I. V. 2022 Energy forest plantations for effective involvement in the circulation of agricultural land in the Russian Federation *Forest engineering, materials science and design*. Minsk. 42-45
4. Danchenko A. M., Bekh I. A. 2010 Cedar forests of Western Siberia. Tomsk: Tomsk State. university. 424
5. Zhizhin S. M., Godovalov G. A. 2021 Former agricultural land as a reserve for increasing forest cover. Khabarovsk: DalNIILKH. 162-166
6. Matveeva R. N., Butorova O. F. 2000 Genetics, breeding, seed production of Siberian cedar. Krasnoyarsk: SibGTU. 243
7. Matveeva R. N., Butorova O. F., Bratilova N. P., Pastukhova A. M., Rodin A. V. 2000 Variability, selection of seed progeny of ecotypes, plus trees and the formation of plantation crops of cedar pines in the suburban area Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: SibGTU. 268
8. Matveeva R. N., Butorova O. F. 2022 Research on the cultivation of Siberian stone pine over a long period *Coniferous boreal zone* 40(5) 374-380
9. Matveeva R. N., Butorova O. F., Grishlov D. A. 2023 Decapitation of Siberian stone pine on plantations in the suburban area of Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: SibGTU. 200

10. Olifirenko A. V. 2021 Afforestation program in Primorsky Krai Intensification of the use and reproduction of forests in Siberia and the Far East. Khabarovsk. 142-150
11. Titov E. V. 2006 Hybridization of Siberian stone pine. Voronezh: VGLTA. 128
12. Titov E. V. 2020 Strategy to increase the volume of Siberian stone pine nut harvesting Coniferous boreal zone 38(1-2) 48-52
13. Titov E. V. 2021 Nut-producing cedar plantations and forest gardens. Voronezh: VGLTU. 267
14. Schepotiev F. L., Richter A. A., Iroshnikov A. I. 1978 Walnut forest crops. Moscow: Timber industry. 256
15. Shutov I. V. Markova I. A. 2007 Plantation forestry. St. Petersburg: Polytechnic University. 366
16. [Ahlgren S. E. 1962 Some factors influencing survival, growth and flowering of intraspecific and interspecific pine grafts J. Forest 60 785-789.
17. Brown C., Ball J. 2000 World View of Plantation Grown Wood. Kuala Lumpur, Malaysia. 1 377-389
18. [Sedjo R.A. 2000 The Social and Economic Impacts of Plantation Kuala Lumpur, Malaysia 1 351-355.
19. Singh, A., Singh H. 1978 Heterosis and its components for yield in chili J. Indian J. Agr.Sci. 48(7) 387-389.

Трубицына М.П., Парахневич Т.М.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Развитие рекреационных зон для улучшения экологической ситуации в г. Воронеж

Аннотация. В настоящее время экологическая ситуация в крупных городах России является одной из наиболее актуальных проблем. Избыточное загрязнение воздуха, недостаток зеленых насаждений и недоступность рекреационных зон оказывают негативное влияние на здоровье горожан и окружающую среду. В статье проведен анализ современного состояния парка «Танаис» города Воронежа и установлено, что данная территория нуждается в благоустройстве. Рассмотрены существующие концепции по реконструкции парка, и мероприятия по рациональному использованию рекреационных ресурсов.

Ключевые слова: экологические проблемы, рекреационные зоны, Воронеж, парк «Танаис».

Trubitsyna M.P., Parakhnevich T.M.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Development of recreational areas to improve the environmental situation in Voronezh

Abstract. Currently, the environmental situation in large Russian cities is one of the most pressing problems. Excessive air pollution, lack of green spaces and inaccessibility of recreational areas have a negative impact on the health of citizens and the environment. The article analyzes the current state of the Tanais park in the city of Voronezh and finds that this area needs in improvement. Existing concepts for the reconstruction of the park and measures for the rational use of recreational resources are considered.

Key words: environmental problems, recreational areas, Voronezh, Tanais Park.

Крупные города России сталкиваются с серьезными экологическими проблемами. Рост промышленности, автомобильного парка, недостаток зеленых насаждений в районах с высокой плотностью населения приводят к ухудшению

качества окружающей среды, и оказывают негативное воздействие на здоровье горожан.

Город Воронеж не является исключением, и характеризуется неблагоприятной экологической обстановкой. Исследования показывают, что уровень загрязнения воздуха в Воронеже превышает предельно допустимые нормы в среднем в 10 раз, особенно в районах с интенсивным автомобильным движением. Это приводит к увеличению числа заболеваний у населения, особенно дыхательных путей и сердечно-сосудистой системы [1].

Рекреационные зоны играют ключевую роль в улучшении экологической ситуации в городах. Зеленые насаждения являются естественными терморегуляторами, повышающими влажность воздуха до 30% и снижающими его температуру до 8 °С [2], и атмосферными фильтрами, поглощающими вредные вещества, патогенные микроорганизмы, выбросы автомобилей и способствующими улучшению её химического и биологического состава.

Так, по статистике, 1 га леса производит от 4 до 14 т кислорода в год и уменьшает содержание в атмосфере углекислого газа в 2-10 раз (с 0,42 мг/м³ до 0,17...0,04 мг/м³) [3]. Кроме того, 1 га озелененной территории способен осаждавать от 20 до 70 т пыли в год и поглощать из атмосферы такие небезопасные для здоровья людей и животных соединения серы, азота, углерода, а также формальдегид, фенолы и некоторые металлы, используя их как источник макро- и микроэлементов для своего роста. Помимо этого растения выделяют биологически активные вещества (фитонциды), снижающие содержание в воздухе патогенных микроорганизмов в среднем в 33 раза и благотворно влияющие на здоровье в целом. Медицинские исследования показали, что фитонциды укрепляют иммунитет, улучшают работу пищеварительных органов, центральной нервной системы и мозгового кровообращения. Еще, в 1979 году Л.З. Гейхман установил, что летучие фитонциды дуба обладают гипотензивным эффектом; лаванды, душицы, Melissa – седативным; мяты – спазмолитическим; березы, чабреца, липы – бронхолитическим [4].

Прогулки по пешеходным тропам укрепляют дыхательную, сердечно-сосудистую систему и опорно-двигательный аппарат. А созерцание разнообразных пейзажей улучшает зрение, дарит положительные эмоции и снижает уровень стресса. Кроме того, рекреационные зоны помогают увеличению биоразнообразия, сохранению природных ресурсов и снижению шумового загрязнения. Даже узкие лесополосы, шириной 40 м способны снижать уровень шума в среднем на 20% (17-23 дБ). Все эти факторы создают благоприятную обстановку для отдыха горожан и повышения качества их жизни.

Целью данной работы являлось исследование состояния парка «Танаис» г. Воронежа и путей повышения его рекреационной ценности.

В настоящее время парк «Танаис» занимает 21 га и является вторым по площади (после Центрального) воронежским парком. Он появился в 1974 году в сосновой лесополосе, заложенной в сороковых годах прошлого века как «Парк культуры и отдыха Советского района». Необходимость благоустройства этой территории возникла в связи с расширением города в юго-западном направлении и активным строительством этого района. Парк расположен между четырьмя

улицами: Южно-Моравской, Героев Сибиряков, Олеко Дундича и Космонавта Комарова. Со всех сторон его окружают многоэтажные дома так называемой «чешской» планировки, в одном из которых располагается ЗАГС данного района. Поэтому парк до сих пор является достаточно популярным местом отдыха, в том числе и у молодоженов, устраивающих там фотосессии.

В советские времена на центральной аллее стоял грузовой самолет АН-10, в котором первоначально был устроен детский кинотеатр, а позднее тир, вдоль неё располагалась детская железная дорога, «Электрический автодром» и многочисленные аттракционы. Также на территории парка существовали «Поляна сказок», 2 пруда, с деревянными и бетонными скульптурами сказочных персонажей, кафе, детская площадка и столы для пинг-понга, по всей территории были установлены малые архитектурные формы в виде теремов и замков (рис. 1, 2).



Рисунок 1. Центральная аллея парка «Танаис» Рисунок 2. Поляна сказок парка «Танаис» [5]

Но со временем эти сооружения обветшали, и в 1994 году администрация города передала 3 га парка под капитальное строительство Свято-Троицкого храма, который достраивается до сих пор, и Спортивного комплекса «Прометей». Чуть позднее в парке появился лазерный клуб и теннисный корт. Оставшаяся территория была передана в аренду коммерческой организации на условиях благоустройства парка и поддержания его инфраструктуры. Новый хозяин дал парку красивое название «Танаис». Однако своих обязательств по содержанию территории арендатор не исполнял и спустя ещё два десятка лет парковые сооружения достигли аварийного состояния и постепенно были демонтированы, как небезопасные по решению суда. Последние остатки аттракционов, скульптур и малых архитектурных форм были вывезены в 2017 году. За исключением, каким-то чудом уцелевших, бетонных изваяний Вили Пуха и Пятачка на центральной аллее, руин аттракциона и детской железной дороги, где в настоящее время проживает большая стая бродячих собак, развалин давно не существующего кафе (рис. 3, 4, 5).



Рисунок 3. Парк «Танаис». Руины бывшего аттракциона



Рисунок 4. Парк «Танаис». Руины бывшей детской железной дороги



Рисунок 5. Кафе «Замок». Сейчас не работает

Идеи реконструкции парка «Танаис» стали появляться в 2016 году. В 2017 их разрабатывали 5 команд архитекторов, которые представили на рассмотрение городской администрации полноценные и оригинальные концепции реконструкции парка [6].

Победила концепция «Танаис»-терапии команды Анны Азизовой-Полуэктовой – бюро INSIGHT. Для осуществления которой предлагалось разделить парк на небольшие функциональные зоны «активного отдыха, общения и рекреации, где можно было бы получить арт-, спорт-, арома-, animal-терапию, звуковую, световую и интеллектуальную терапию» (рис. 6, 7).



Рисунок 6. Схема реконструкции парка «Танаис» по концепции «Танаис»-терапии

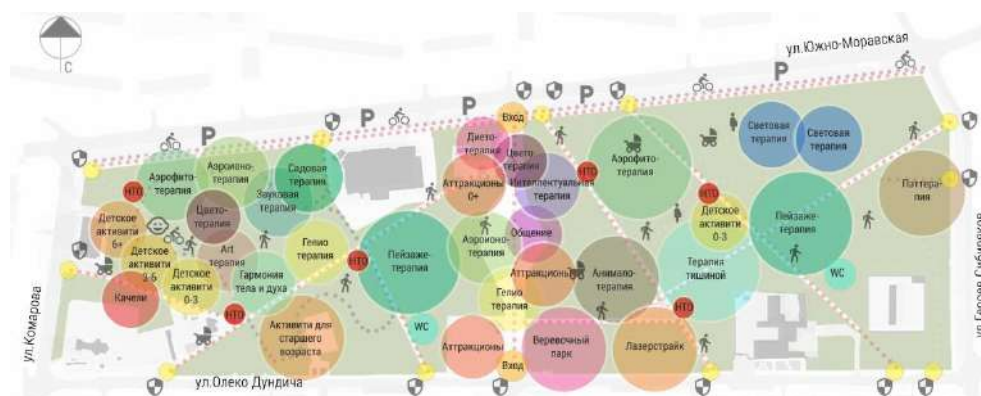


Рисунок 7. Схема функциональных зон парка «Танаис» по концепции «Танаис»-терапии

В парке также предусматривались площадка для выгула животных, городской огород, ручей, сад трав, несколько детских площадок, зоны арт- и светотерапии, площадка для физической подготовки, места под размещение НТО, парковки и так далее. Но эта идея не была реализована формально потому, что ее авторы не

смогли пройти до конца все этапы доработок и согласований, а, по словам самих создателей по причине того, что она слишком опередила время.

8 сентября 2022 года на центральной аллее парка «Танаис» администрация города Воронежа, во главе с мэром Вадимом Кстениным, представила стенды с визуализациями двух новых концепций реконструкции парка на общественное обсуждение жителей Советского района [7]. Одна из них предлагала создание «Динопарка» и велодорожек (рис. 8).



Рисунок 8. Схема реконструкции парка «Танаис». Концепция 1. 2022 г.

А, другая концепция предполагала устройство сухого фонтана и зоны паркура (рис. 9).



Рисунок 9. Схема реконструкции парка «Танаис». Концепция 2. 2022 г.

Но, обе они предполагают деление парка на 3 основные зоны — центральную, зону активного и спокойного отдыха. И в любом случае на территории парка должны по максимуму сохраняться все здоровые деревья,

своевременно удаляться больные и проводиться дополнительное озеленение. Финансовые условия обоих концессионеров (имена которых не разглашались) также аналогичны – концессионер вкладывает в реконструкцию парка до 216 млн. рублей, администрация города добавляет до 110 млн. рублей. При этом парк остаётся муниципальным и общедоступным, срок реконструкции рассчитан на 3 года, а концессионное соглашение будет действовать 25 лет. Представители администрации пообещали горожанам, что в 2023 году будет принято окончательное решение по выбору концессионера и концепции развития парка.

4 августа 2023 года стали известны имена концессионеров. Ими с большой долей вероятности станут Эдуард Толоконников – успешный концессионер воронежского парка «Дельфин», известный воронежский бизнесмен Эдуард Краснов и владелец ООО «Борисоглебское дорожно-ремонтное строительное управление № 2» Дмитрий Хвастунов, уже зарегистрировавшие юридическое лицо для концессии парка «Танаис» в Воронеже. О планах Эдуарда Краснова и Дмитрия Хвастунова пока ничего неизвестно, а Эдуард Толоконников уже представил своё виденье развития парка «Танаис» 12 июля 2023 года на молодежном форуме «Молгород». Это очень оригинальная идея благоустройства парка в стиле одноименного древнегреческого города. Со слов автора: «Это будет красивый проект: белый камень, бирюзовые акценты, яркие морские цвета». Кроме того планируется восстановление «Поляны сказок», создание площадки для выгула собак и барбекю-зоны [8]. Но и он, к сожалению, может остаться только на бумаге. Потому что уже 18 августа 2023 года руководитель управления информации городской администрации Никита Чеботарев сообщил о подорожании общей стоимости реконструкции парка «Танаис» с 250 до 350 млн. рублей, вследствие глобального повышения цен и уточнения предварительных расчетов. Согласятся ли указанные выше концессионеры с новыми условиями, и какое соглашение в итоге подпишут с администрацией города пока неизвестно. Остаётся лишь надеяться, что этот вопрос всё же решится до конца 2023 года [9].

А пока состояние парка оставляет желать лучшего, о чём свидетельствуют представленные выше авторские фотографии, сделанные 30 сентября 2023 года. По ним можно судить, что территория данной рекреационной зоны находится почти в полном упадке. Так же, как и несколько месяцев назад, в январе с. г. во время предыдущего исследования этого парка [1]. Об этом говорит хотя бы тот факт, что на всей его территории нет ни одного возделанного участка почвы, газона, клумбы или цветника. В парке нет ни одного общественного туалета. Кроме того, он очень плохо освещается и убирается, по всей видимости только на центральной аллее, где ещё сохраняются признаки цивилизации – работает тир, прокат детских электромобилей, небольшой детский комплекс и одно из трех кафе «Замок» (бывшее «Тип-Топ»), которое теперь в основном работает как ночной клуб, а днем только продает фаст-фуд навынос немногочисленным посетителям. Стоят скамейки со спинками в виде рекламных щитов и контейнеры для раздельного сбора отходов.

Западная часть парка пребывает практически в полном запустении, о чём явственно свидетельствует огромное количество мусора. Именно здесь

находятся руины детской железной дороги, бывшего кафе и два абсолютно пустых места, оставшиеся от прежнего Электрического автодрома и «Поляны сказок». На площади в несколько гектаров нет ни одной скамейки, поэтому большинство посетителей там не задерживается.

Восточная часть парка, более обитаемая, – эта зона активности. Здесь находится Клуб активного отдыха «Лазер Страйк», площадка для пинг-понга, детская площадка, стоят урны и скамейки и в целом намного чище, хотя посетителей больше.

Таким образом, для развития рекреационных зон крупных городов необходимо:

1. Провести анализ существующих зеленых территорий и выявить потенциал для создания новых рекреационных зон в городской черте и их максимально равномерного распределения, с учетом экологических и санитарных нормативов.

2. Разработать планы по благоустройству и озеленению уже существующих парков и скверов для максимально рационального использования этих территорий.

3. Для привлечения населения в эти рекреационные зоны необходимо обеспечить их транспортную доступность для всех слоев населения и создать условия, как для активного, так и для тихого отдыха горожан.

Список литературы

1. Исследование антропогенных ландшафтов города Воронежа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53861469>
2. Пригородные леса / В.Д. Пряхин, В.Т. Николаенко. – М: Лесная промышленность, 1981. – 246 с.
3. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Актуальные проблемы национальной лесной политики. М.: Левко / Центр экологической политики России, 2009. 108 с.
4. Palmer M. Ecological Restoration of Streams and Rivers: Shifting Strategies and Shifting Goals / M. Palmer, K. Hondula, B. Koch // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 2013.V. 44, P. 247-269.
5. Поляна сказок парка «Танаис»: <https://riavrn.ru/i/0d/0dcd472c25a19d3415c6872efa98a8ac.jpg>
6. Утопичный Воронеж: парк «Танаис» / Авторы / Новости / 360n.ru Воронежский городской портал: <https://m.360n.ru/news/auth-columns/79962-utopichnyu-voronezh-park-tanais>
7. Мэр и воронежцы оценили предложенные потенциальными инвесторами концепции развития «Танаиса»/ Официально / Новости / Риа Воронеж: <https://riavrn.ru/news/mer-voronezha-my-gotovy-sofinansirovat-blagoustrojstvo-tanaisa-na-summu-do-110-mln-rublej/>
8. В концессии воронежского парка «Танаис» может участвовать Эдуард Краснов – Коммерсантъ Воронеж: <https://www.kommersant.ru/doc/6146670>

9. Проект мэрии по обновлению парка «Танаис» в Воронеже подорожал на 100 млн рублей – Коммерсантъ Воронеж: <https://www.kommersant.ru/doc/6171248?query=Эдуард%20Толоконников>

References

1. Research of anthropogenic landscapes of the city of Voronezh: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53861469>
2. Suburban forests / V.D. Pryakhin, V.T. Nikolaenko. – M: Forest industry, 1981. – 246 p.
3. Isaev A.S., Korovin G.N. Actual problems of national forest policy. M.: Levko / Center for Environmental Policy of Russia, 2009. 108 p.
4. Palmer M. Ecological Restoration of Streams and Rivers: Shifting Strategies and Shifting Goals / M. Palmer, K. Hondula, B. Koch // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 2013.V. 44, P. 247-269.
5. Glade of fairy tales of the Tanais Park: <https://riavrn.ru/i/0d/0dcd472c25a19d3415c6872efa98a8ac.jpg>
6. Utopian Voronezh: Tanais Park / Authors / News / 36on.ru Voronezh City Portal: <https://m.36on.ru/news/auth-columns/79962-utopichnyy-voronezh-park-tanais>
7. The Mayor and Voronezh residents evaluated the development concepts of Tanais proposed by potential investors/ Officially / News / Ria Voronezh: <https://riavrn.ru/news/mer-voronezha-my-gotovy-sofinansirovat-blagoustrojstvo-tanaisa-na-summu-do-110-mln-rublej/>
8. Eduard Krasnov can participate in the concession of the Voronezh Tanais Park – Kommersant Voronezh: <https://www.kommersant.ru/doc/6146670>
9. The project of the Mayor's Office to renovate the Tanais Park in Voronezh has risen in price by 100 million rubles – Kommersant Voronezh: <https://www.kommersant.ru/doc/6171248?query=Eduard%20Tolokonnikov>

Туркин А.Ф., Матвеев С.М.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Дендрохронологический анализ индивидуальных особенностей
радиального прироста 20-летних деревьев сосны обыкновенной (по видам
древесины) на территории Пригородного лесничества Воронежской
области**

Аннотация. Изучена реакция радиального прироста (ранней, переходной и поздней древесины) молодняков сосны обыкновенной на экстремальную засуху и низовой пожар 2010 года. Выявлены индивидуальные особенности формирования переходной и поздней древесины у различных деревьев, в том числе, связанные с влиянием экстремальной засухи, проанализированы причины.

Ключевые слова: дендрохронология, сосна обыкновенная, экстремальная засуха, низовой пожар, радиальный прирост ранней, переходной, поздней древесины.

Turkin A.F., Matveev S.M.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Dendrochronological analysis of individual features of the radial increment
of 20-year-old Scots pine trees (by types of wood) on the territory
of the Prigorodny forestry of the Voronezh region**

Abstract. The reaction of radial increment (early, transitional and late wood) of young Scots pine stands to the extreme drought of 2010 was studied. The individual features of the formation of transitional and late wood in various trees, including those associated with the influence of extreme drought, were identified, and the causes were analyzed.

Key words: dendrochronology, common pine, extreme drought, radial increment early, transition, late wood.

1. Введение

Динамика формирования переходной древесины, соотношение ранней, переходной и поздней древесины у различных деревьев как по сосне

обыкновенной, так и по другим породам – мало изучены и практически не представлены в печати [5]. Получение достоверной информации о реакции прироста молодняков сосны обыкновенной на экстремальную засуху, сопряжённую с низовым пожаром в древостое, с дифференциацией по видам древесины, является актуальной задачей как в научном плане, так и для развития лесного хозяйства [3, 6, 7].

Цель исследования: проанализировать реакцию радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) на засуху 2010 года, а также изучить изменчивость ранней, поздней и переходной древесины сосны в 20-летнем насаждении.

Основные задачи:

- отбор образцов (кернов) древесины в древостое сосны обыкновенной (12 образцов), пережившем воздействие засухи и низового пожара 2010 года и погибшем при пожаре в 2021 году;
- датировка образцов, измерение ширины годичных колец и отдельно ранней, переходной и поздней древесины на измерительном комплексе Lintab-6;
- анализ динамики ширины годичных колец (по видам древесины), за весь период роста, до засухи, реакции на засуху 2010-го года, после засухи;
- определить изменчивость признака (коэффициент вариации) и достоверность расчёта средних значений для общей, ранней, переходной, поздней древесины.

2. Материалы и методы

Объектом исследований выбран участок соснового древостоя в Левобережном участковом лесничестве Пригородного лесничества Воронежской области (Усманский бор), в квартале 99 выдел 3 (рисунок 1), ТЛУ – свежая суборь (B_2), тип леса – сосняк травяной с дубом (ССРТ). Возраст сосны – 30 лет. Данный древостой пережил засуху и низовой пожар 2010 года, и погиб при пожаре в сентябре 2021 года.

Программа исследований предусматривала закладку опытного объекта, определение таксационных характеристик древостоя (таблица 1), отбор образцов (кернов) древесины сосны обыкновенной, датирование (рисунок 2), измерение ширины годичных колец и последующие математический, статистический и визуальный анализы полученных данных.

Образцы (керны) древесины для исследования отобраны 17 октября 2021 г. Для обеспечения достоверности исследований [4], с обследуемого участка отобрано 12 кернов древесины. Для отбора образцов использовался бурав Пресслера. Образцы отбирали перпендикулярно оси дерева, на высоте около 1,0 м от уровня земли. Отобранные образцы помещали в бумажные (газетные) свёртки, для дальнейшей транспортировки, сушки и хранения. На каждый сверток нанесена информация о номере образца, месте и дате отбора. Датировка и измерение параметров годичных колец производится в лабораторных условиях, в соответствии с общепринятой методикой [4], на измерительном комплексе Lintab-6, с помощью программы TSAP-Win (версия

профессиональная) [8]. Статистические характеристики дендрохронологического ряда определены в программе Microsoft Excel.



Рис. 1 – Месторасположение объекта исследования.



Рисунок 2. Пример датировки кернов

Таблица 1 – Таксационная характеристика древостоя

Кв./выд.	Площадь, га	ТЛУ	Тип леса	Состав	Возраст, лет	Ср. высота, м	Ср. диаметр, см	Бонитет
99/3	1,2	B ₂	ССРТ	10С, Гарь	30	12	24	1

3. Результаты и их обсуждение

3.1 Проведён анализ соотношения долей древесины разных видов (в % от общей ширины годичного кольца каждого года) в 12 образцах сосны обыкновенной (отдельно для каждого образца):

- а) за весь период роста деревьев (2005-2021 гг);
- б) до засухи 2010 г. (за период 2005-2009 гг);
- в) после засухи 2010 г. (за период 2010-2021 гг).

В результате анализа выявлено следующее.

За весь период роста деревьев во всех образцах без исключения ранняя древесина преобладает по ширине (рисунок 3). Наименьшая доля в ширине

годового кольца, за единственным исключением (образец № 2), приходится на позднюю древесину.

В период до засухи у всех образцов, за исключением образца №1, также преобладает ранняя древесина (рисунок 3), наименьшая доля в ширине годового кольца, за единственным исключением (образец № 2), приходится на позднюю древесину.

В период после засухи только у восьми образцов преобладает ранняя древесина, в остальных преобладающей является – переходная (образцы № 4; 7; 8; 10). В образцах №1 и №2 переходная древесина составляет самую малую долю. Во всех образцах наблюдается увеличение доли переходной и поздней древесины (рисунок 3).

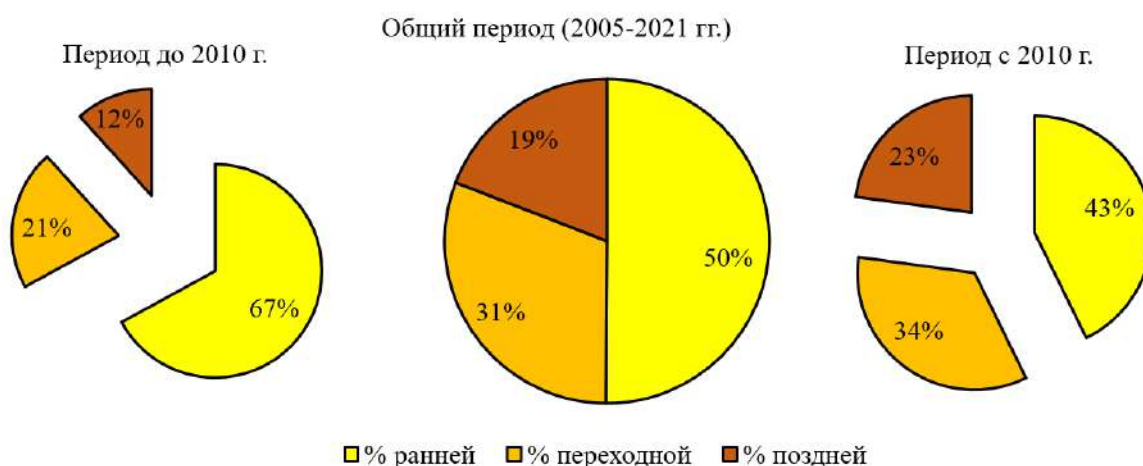


Рисунок 3. Суммарная доля прироста по видам древесины, осредненная для всех образцов.

3.2 Анализ динамики общего прироста по годам (в абсолютных величинах, мм):

В ходе анализа установили, что в период до 2010 года у образцов № 7, 8 и 10 низкий прирост наблюдался, чаще, чем у остальных. В период с 2011 года в образцах №7 и 8 наблюдаются самые большие приросты. В 2017 году образец № 8 имел самый большой прирост среди всех образцов за весь исследуемый период: 17,3 мм. В дальнейшем, до 2021 года, у всех образцов прирост восстановился после резкого снижения в 2010-2011 гг., 8-й образец остался в лидирующих по общему приросту. Осредненный для всех образцов прирост, с распределением по видам древесины (ранняя, переходная, поздняя), представлен на рисунке 4.

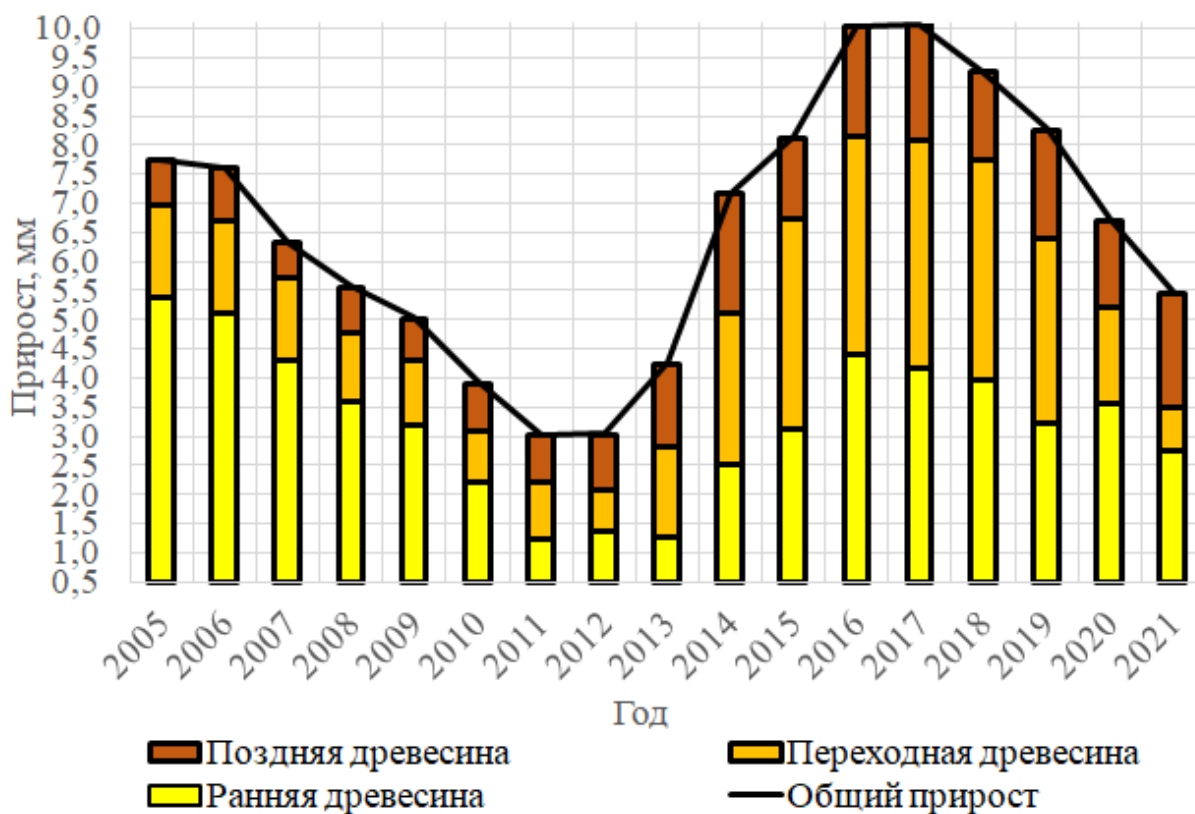


Рисунок 4. Осредненный прирост по видам древесины, в мм.

Два различных варианта реакции радиального прироста сосны в обследуемом древостое на засуху, низовой пожар и его последствия:

1. У образца №5 наблюдается сильное снижение прироста (рисунок 5);
2. У образца №7 наблюдается повышение прироста, вероятно вызванное резким осветлением в результате гибели соседних деревьев при пожаре (рисунок 6).

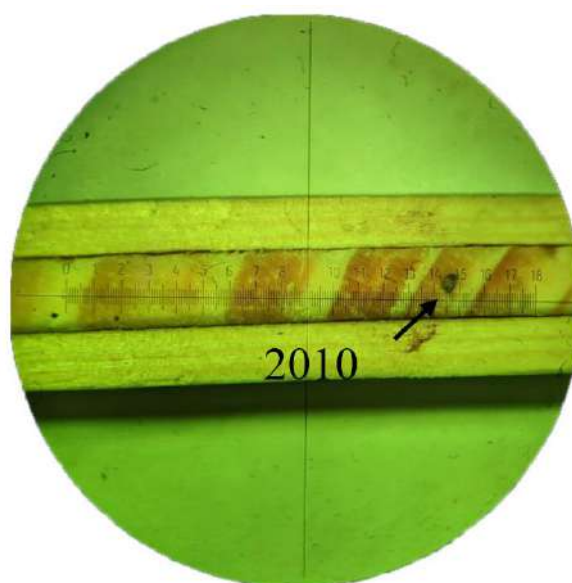
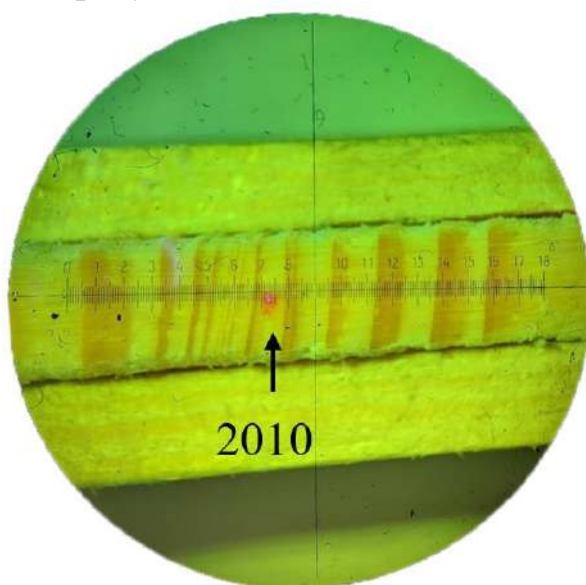


Рис. 5 – Реакция образца №5. Рис. 6 – Реакция образца №7.

Последствия засушливых условий и воздействия пожаров могут проявляться как в текущий год [2], так и в течение ряда последующих лет [1, 6].

3.3 Анализ достоверности расчёта средних значений и изменчивости общей, ранней, переходной, поздней древесины:

Статистические характеристики полученного при измерениях дендрохронологического ряда, в абсолютных единицах и относительных индексах (таблица 2), позволили проанализировать достоверность расчетов.

Коэффициент вариации, C , % для временного ряда ширины годичных колец каждого образца (в абсолютных величинах, мм) по видам древесины изменяется от 18% до 146%. Полученные средние значения признаков являются достоверными, так как показатель достоверности (t_m) в каждом случае больше 3.

Коэффициент вариации ширины годичных колец в индексах-процентах по видам древесины изменяется от 6% до 87%. Основная ошибка среднего значения (мм), контролируется через показатель достоверности среднего значения признака (t_m) и показатель точности опыта (P_m).

Таблица 2 – Статистические характеристики дендрохронологического ряда (в индексах, %)

Вид древесины	Период лет 2006-2020 гг.	M , мм	m_m	C , %	M_c	t_m	P_m , %
Общая	15	0,98(98%)	0,06	23%	0,05	23,01	7%
ранняя	15	0,97(97%)	0,09	33%	0,07	13,91	9%
переходная	15	0,97(97%)	0,15	57%	0,12	7,55	16%
поздняя	15	0,98(98%)	0,11	39%	0,08	10,37	11%

Полученные средние значения признаков являются достоверными, так как показатель достоверности в каждом случае больше 3, а точность исследований (опыта) является достаточной в случае общей, ранней, да и фактически, поздней древесины. Для переходной древесины порог точности исследования превышен на 6%, что говорит о размытости границ между поздней и переходной древесиной и, соответственно, определенной сложности и некоторой субъективности их выявления.

4. Заключение

Большинство обследованных образцов за весь период роста показывают сходную динамику колебаний радиального прироста, но имеются исключения: образцы № 7, 10, 12 и, особенно – образец № 11.

Выявлено, что за весь период роста деревьев во всех образцах без исключения ранняя древесина преобладает, занимая в среднем 50% годичного кольца. Наименьшая доля в ширине годичного кольца, за единственным исключением (образец № 2), приходится на позднюю древесину. Во всех образцах с увеличением возраста (после 2012 года) наблюдается увеличение доли переходной и поздней древесины.

Коэффициент вариации, C , % для временного ряда каждого образца по видам древесины (в мм) изменяется от 18% до 146%.

Коэффициент вариации ширины годичных колец выраженной в индексах-процентах по видам древесины изменяется от 6% до 87%. Средние значения признаков достоверны, так как показатель достоверности (t_m) в каждом случае больше 3.

Точность исследований (опыта) является достаточной в случае общей, ранней и, фактически, поздней древесины. Для переходной древесины порог точности исследования превышен на 6%, что говорит о размытости границ между поздней и переходной древесиной и, соответственно, определённой сложности и некоторой субъективности их выявления.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000012-7 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)».

The study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000012-7 "Biogeochemical monitoring of the carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)").

Список литературы

1. Данчева А.В. Влияние пожаров на радиальный прирост сосны, произрастающей в сухих условиях казахского мелкосопочника / А.В. Данчева, С.В. Залесов // Лесное хозяйство. 2019. – №1(54) – С.82-91.
2. Костякова Т.В. Влияние лесных пожаров на динамику радиального прироста хвойных пород в лесостепной зоне Хакасии / Т.В. Костякова, Л.В. Белокопытова, Е.А. Бабушкина // Материалы IX Всероссийской науч.-тех. конф. посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс]. Изд-во СФУ, 2013.
3. Матвеев, С.М. Дендроклиматическое исследование сосняков Усманского бора и моделирование пожароопасных сезонов / С.М. Матвеев, В.В. Чеботарёв // Лесной журнал. 2002. – № 2. – С. 36-41.
4. Матвеев С.М. Дендрохронология /С.М. Матвеев, Д.Е. Румянцев; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – 2-е изд., перераб. и доп. – Воронеж, 2013. – 140 с.
5. Матвеев С.М. Динамика поздней древесины сосны обыкновенной в различных лесорастительных условиях / С.М. Матвеев // Лесной журнал. 2005.- № 4. - С. 70-75.

6. Николаев А.Н. Дендрохронологические исследования послепожарной реакции древесных пород в центральной Якутии / А.Н. Николаев // Известия Самарского научного центра РАН. 2010 – Т. 12, №1(3) – С. 888-891.
7. Red pine (*Pinus resinosa* Ait.) fire history and management implications in the Mississippi River headwaters, Minnesota, USA / M.C. Stambaugh, E.R. Abadir, J.M. Marschall, R.P.Guyette, B. Palik, D.C. Dey // *Forest Ecology and Management*. – V. 494. – 2021 – N 11931.
8. Rinn F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation. Heidelberg, 1996 – p. 262 <https://rinntech.info/products/tsap-win/> .

References

1. Dancheva A.V. Influence of fires on the radial growth of pine growing in dry conditions of the Kazakh hills / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov // *Forestry*. 2019. - No. 1 (54) - P. 82-91.
2. Kostyakova T.V. Influence of forest fires on the dynamics of radial growth of conifers in the forest-steppe zone of Khakassia / T.V. Kostyakova, L.V. Belokopytova, E.A. Babushkina // *Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Technical. conf. dedicated to the 385th anniversary of the founding of the city of Krasnoyarsk [Electronic resource]*. SibFU Publishing House, 2013.
3. Matveev, S.M. Dendroclimatic study of pine forests in the Usmansky forest and modeling of fire hazardous seasons / S.M. Matveev, V.V. Chebotarev // *Forest Journal*. 2002. - No. 2. - P. 36-41.
4. Matveev S.M. *Dendrochronology* /S.M. Matveev, D.E. Rummyantsev; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, FGBOU VPO "VGLTA". - 2nd ed., revised. and additional - Voronezh, 2013. - 140 p.
5. Matveev S.M. Dynamics of scotch pine latewood in different forest-growing conditions/ S.M. Matveev // *Forest Journal*. 2005. - No. 4. – P. 70-75
6. Nikolaev A.N. Dendrochronological studies of the post-fire reaction of tree species in central Yakutia / A.N. Nikolaev // *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010 - V. 12, No. 1(3) - P. 888-891.
7. Red pine (*Pinus resinosa* Ait.) fire history and management implications in the Mississippi River headwaters, Minnesota, USA / M.C. Stambaugh, E.R. Abadir, J.M. Marschall, R.P.Guyette, B. Palik, D.C. Dey // *Forest Ecology and Management*. – V. 494. – 2021 – N 11931.
8. Rinn F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation. Heidelberg, 1996 – p. 262 <https://rinntech.info/products/tsap-win/> .

Фарбер С.К., Соколова Н.В., Мартынов А.А.

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН,
г. Красноярск*

Картографирование современного и прошлого состояния насаждений

Аннотация. Для управления лесами в дополнении к лесоустроительным плано-картографическим материалам лесоводам будут полезны карты состояния насаждений – текущего этапа лесообразовательного процесса. Легенда карт, достаточно полно характеризующая состояние насаждения, включает тип и направление сукцессии, наименование коренной породы, а также возраст преобладающей породы древостоя лесотаксационного выдела. Методика картографирования демонстрируется на примере тестового полигона Большемуртинского лесничества Красноярского края, представляющего типичные южно-таежные леса Сибири. Показана возможность картографирования не только на год лесоустройства, но и на более ранний период. Для определения преобладающей породы и возраста насаждения 100-летней давности предложена схема, в которой типизированы возможные варианты, зависящие от направления сукцессии, возраста насаждения до начала внешнего воздействия и от периода лесовосстановления.

Ключевые слова: лесообразовательный процесс; сукцессия; атрибутивная таблица ГИС лесничества; картографирование состояния лесов.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-46-07002, <https://rscf.ru/en/project/21-46-07002/>.

Farber S.K.¹, Sokolova N.V.^{1,2}, Martynov A.A.¹
*Sukachev Institute of Forest, Russian Academy
of Science Siberian Branch, Krasnoyarsk*

Mapping the current and past state of forest stands

Abstract. Maps of forest stand conditions – the current phase of the forest forming process, will be useful for foresters in their forest management additionally to the forest planning and cartographic materials. The legend of the maps, which fully characterizes condition of the forest stand, includes the type and trend of succession, the name of the climax species, and the age of the predominant species of the forest stand in the forest subcompartment. The mapping methodology has been applied in the

test area of the Bolshemurtinsky forest district of the Krasnoyarsk region, which is typical for southern taiga forests of Siberia. Source data for mapping has been based on descriptions of the forest subcompartments on the GIS attribute table of the forest district. Forest stand confinement to the terrain relief indicators has been based on the SRTM 55-01 digital terrain model data. Spatial analysis has been performed by the ArcGIS Spatial Analyst module. The predominant species are accepted as climax ones in coniferous stands. Birch and aspen forests are secondary stands which replace climax species at certain succession phases. Mapping capability has been shown not only for the year of forest inventory but also for the earlier period of time. To determine predominant species and an age of the forest stand of a century-old, a scheme has been proposed where the conceivable options have been typified depending on succession trend, the forest stand age prior to disturbance, and from the period of reforestation. Map tiles of the test area as of 2006 – the year of forest inventory, and as of 1906 – the year of the intensive colonization beginning in the southern Siberia are shown. Maps of forest conditions in the test area represent successions that are typical in southern taiga forests of Siberia: post-harvest, pyrogenic and biogenic. The mapping methodology of forest condition is universal.

Key words. Forest forming process; succession; GIS attribute table; forest stand; mapping.

Acknowledgments

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 21-46-07002, [https://rscf.ru/en/project/21-46-07002 /](https://rscf.ru/en/project/21-46-07002/).

1. Введение

Информация о состоянии лесов – это лесоэкономические данные, позволяющие получать необходимые для ведения лесного хозяйства аналитические обобщения. Наглядность результатов анализа достигается при использовании картографического метода, позволяющего отражать характеристики лесов в статике и динамике [1-3]. В качестве основы картографирования используют геопривязанные аэрокосмические снимки [4]. Достижимая подробность лесотаксационного описания лесов зависит от спутниковой аппаратуры и масштаба изображения. Данные дистанционного зондирования Земли используются для оценки насаждений и их картографирования [5, 6]. В. О. Жарко, С. А. Барталев [7, 8] на основе космических снимков спутниковой системы Modis (230 м) получили карту лесов России с изображением преобладающих пород деревьев. Более дробная классификация лесов с их подразделением на темнохвойные, светлохвойные, лиственные смешанные, получена на основе данных Landsat (28 м) [9-11]. Однако, для таксации лесов даже по наименее подробному 3-му разряду лесоустройства подразделения лесной территории только на категории земель или лесные формации явно недостаточно. Проблема точности таксационных описаний была и остается актуальной вне зависимости от метода таксации. Не снимается эта проблема и по отношению к методам дешифрирования лесов с использованием многоспектральных космических снимков [12]. Для оценки

состояния растительного покрова на локальном уровне предпочтение отдается снимкам более высокого разрешения или даже другим средствам получения лесотаксационной информации. Например, данные лазерного зондирования лесного полога позволяют в автоматическом режиме получать и картографировать насаждения с точностью достаточной для целей планирования лесохозяйственного производства [13-14]. Пример поэтапного описания картографирования леса по данным лазерной съемки приводится в работе Б.А. Новаковского с соавторами [15].

Траектории от текущего состояния лесов (сукцессии) к будущему не определены, поэтому лесоведам предстоит выработать основы адаптивного управления для будущих лесов [16]. Сукцессии – это результат внешних воздействий. В Сибири из них наиболее значимы лесные пожары, рубки и вредители леса. Именно эти внешние воздействия зачастую прерывают текущий цикл сукцессии с результатом в виде гибели насаждения. Для управления лесами важно понимание не только причин изменений, но и возможность их визуального анализа по картам, на которых отражены этапы лесообразовательного процесса насаждений лесотаксационных выделов. Картографирование наглядно демонстрирует особенности перехода от прошлого состояния лесов к настоящему. Карты состояния насаждений являются эффективным инструментом прогнозирования будущих лесов, а также обоснованием текущего и перспективного планирования. Цель настоящей работы – разработка методики картографирования этапов лесообразовательного процесса. Работа выполнена на примере опытного полигона Большемуртинского лесничества. Получены карты состояния насаждений на 2006 г. – год лесоустройства и 1906 г. – год начала интенсивного освоения Сибири переселенцами из Центральной России.

2. Материалы и методы

Таксационные показатели насаждений – информация, которая позволяет получать сведения о коренной породе древостоя выдела, типе и направлении сукцессии. На момент времени состояние насаждения лесотаксационного выдела достаточно полно характеризуется типом и направлением сукцессии, наименованием коренной породы, а также наименованием и возрастом преобладающей породы. Атрибутивная таблица ГИС массовой таксации содержит повыведельную лесотаксационную информацию. Сведения о коренных породах, типах и направлениях сукцессий необходимо получить дополнительно. Для этого используется описание насаждений на год лесоустройства: породный состав, бонитет, тип леса, а также пространственный анализ показателей рельефа местности. Прямым указанием на текущую стадию сукцессии является возраст преобладающей породы древостоя выдела. Пространственный анализ рельефа выполняется на основе данных цифровой модели рельефа (ЦМР).

2.1. Определение коренной породы

В хвойных насаждениях в качестве коренных принимаются преобладающие породы деревьев. Березняки и осинники являются

производными, замещающими коренные породы на определенных фазах сукцессий. Посредством анализа приуроченности выделов сосновых и лиственничных насаждений к абсолютным высотам местности, подтаёжная зона отделяется от горно-таежной. В подтаёжной зоне в качестве коренных пород принимаются светлохвойные (сосна и лиственница), в горно-таежной – темнохвойные (пихта, ель кедр).

2.2. Определение типов сукцессий в подтаежной зоне.

На территории Большемурутинского лесничества начало массовой лесозаготовки связано с началом интенсивной колонизации Сибири. За 1861—1905 гг. в Сибирь переселилось около 1820 тыс. человек, а за 1906-1914 гг. 3040 тысячи. Всего 4860 тыс. человек [17]. Заготовка леса в те годы производилась приисковыми рубками, которые не имеют на аэрокосмических снимках выраженных контуров. Возраст насаждения – единственный косвенный признак, по которому можно отличить приисковые вырубки от погибших насаждений. Если принять, что рубка леса в значительных объемах началась в 1906 году, то сосняки подтаежной зоны возрастом 70-100 лет в основном имеют послерубочное происхождение, а сосняки возрастом менее 70 и более 100 лет в основном имеют пирогенное происхождение. Ценогонные сукцессии для светлохвойных насаждений не характерны. Для темнохвойных насаждений, которые в подтаежной зоне произрастают на речных террасах, ценогонные сукцессии определяются по разновозрастности преобладающей породы древостоя. Вредители лесов в подтаежной зоне не приводят к гибели насаждений, а только способствуют изреживанию древостоев и, как следствие, накоплению горючего материала.

2.3. Определение типов сукцессий в горно-таежной зоне

В защитных темнохвойных лесах опытного полигона сплошные рубки запрещены. Промышленная заготовка древесины производится в эксплуатационных лесах. Вырубки на аэрокосмических снимках имеют четко выраженные контуры, что позволяет легко их идентифицировать. Леса зеленомошные, поэтому пожары, приводящие к гибели насаждения, летне-осеннего периода времени. Для образования гари требуется достаточное количество горючего материала, который появляется в результате самоизреживания (естественного отпада), весенних низовых пожаров, вредителей леса и перехода горения во внутрпочвенное. От поражения сибирским шелкопрядом темнохвойные леса погибают, и только потом сгорает уже погибший лес. По таксационным описаниям достоверно отличить пирогенное или биогенное происхождение темнохвойного насаждения невозможно. Учитывая повышенную влажность местоположений в горнотаежной зоне, более вероятно биогенное происхождение. Для всех типов сукцессий характерно лесовосстановление со сменой пород на березу и осину.

2.4. Картографирование состояния насаждений

В атрибутивной таблице ГИС создается поле «НАСТОЯЩЕЕ», в котором объединяются сведения о возрасте преобладающей породы насаждения лесотаксационного выдела, коренной породе, типе и направлении сукцессии. Картографирование состояния насаждений на год лесоустройства производится по данным поля «НАСТОЯЩЕЕ». Для картографирования состояния лесов на 1906 год требуется спроецировать характеристики выделов таксации 2006 года. В атрибутивной таблице ГИС создается поле «ПРОШЛОЕ», в котором отражаются сведения об преобладающей породе и коренной породе, сукцессии и ее направлении. Картографирование состояния насаждений производится по данным поля «ПРОШЛОЕ».

3. Результаты и обсуждение

Методика картографирования демонстрируется на примере опытного полигона южно-таежных лесов Большемуртинского лесничества Красноярского края. Площадь участка составляет 14724 га (804 лесотаксационных выдела). Большемуртинское лесничество расположено в южно-таежном округе Приенисейской горной лесорастительной провинции [18]. Горы Енисейского кряжа создают условия для формирования высотных зон (поясов) подтаежных сосновых и горно-таежных темнохвойных лесов. Енисейский кряж перехватывает атмосферные осадки, поэтому насаждения горно-таежного пояса относительно влажные.

Леса лесничества издавна эксплуатируются. Сосняки подтаежной зоны ранее вырубались приисковыми рубками, в т. ч. в запретных лесах вдоль р. Енисей, где сейчас произрастают 70-80-летние сосновые и лиственные насаждения [19]. В темнохвойных насаждениях горно-таежной зоны интенсивная лесозэксплуатация началась только в последние десятилетия.

Тип леса является показателем направления сукцессии [20]. Сукцессии сосновых лесов пирогенные и послерубочные. Сукцессии темнохвойных лесов биогенные, пирогенные и послерубочные. Территория опытного полигона находится в пределах трапеции ЦМР SRTM 55-01. Посредством объединения каналов растров высот и экспозиций получен совмещенный растр опытного полигона.

В подтаежной зоне сосна принимается в качестве коренной породы по следующим признакам: абсолютная высота не превышает 280 м; экспозиция склонов составляет 135°-315°; в составе древостоя и подроста присутствует сосна. Ель и кедр принимаются в качестве коренных пород по приуроченности лесотаксационных выделов к водотокам – по типам лесов пойм и речных террас.

В горно-таежной зоне пихта и кедр принимаются в качестве коренных пород по следующим признакам: абсолютная высота превышает 280 м; местоположения – водораздельные пространства и пологие склоны долин. Ель принимается в качестве коренной породы по приуроченности лесотаксационных выделов к водотокам – по типам лесов пойм и речных террас.

По представленности разновозрастных насаждений можно ориентировочно оценить долю ценогенных сукцессий. Э. Н. Фалалеев считает,

что древостой Сибири в основном разновозрастные [21]. Массовые данные лесоустройства, напротив, фиксируют преобладание одновозрастных [22]. Таким образом, научные оценки возрастной структуры насаждений существенно расходятся. В целом, можно утверждать, что разновозрастность темнохвойных насаждений выше, а наличие в составе древостоя темнохвойных пород повышает возможность реализации ценогенной сукцессии.

Лесные пожары в лесорастительных условиях южной тайги – это наиболее существенный экологический фактор, определяющий породный состав, структуру и возрастное строение насаждений. Современный растительный покров во многом результат взаимодействия пространственно-временной динамики крупных пожаров с физико-географическими и климатическими условиями [23]. Только благодаря лесным пожарам в Сибири широко представлены светлохвойные насаждения. Утверждается, что сосняки Приангарья существуют именно благодаря лесным пожарам [24].

Древостой южной тайги, как наиболее производительные и доступные, являются объектом интенсивной промышленной эксплуатации. Выбор способа рубки согласовывается с прогнозируемым сценарием последующего лесовосстановления. При условии соблюдения правил рубок и технологического процесса заготовки древесины, лесовосстановление вырубок обеспечивается посредством содействия естественному возобновлению. На практике это условие зачастую не выполняется. Например, в Приангарье, несмотря на благоприятные лесорастительные условия, на 57 % вырубок наблюдается смена хвойных пород на мягколиственные [25]. На части вырубок далее идут дигрессионные процессы - заболачивание, одернение. На таких вырубках высаживают лесные культуры, что тоже не всегда приводит к желаемому результату.

Значительный ущерб южно-таежным лесам наносят хвое-, листогрызущие насекомые, среди которых особое место занимает сибирский шелкопряд. Уничтожение леса этим вредителем в период вспышек размножения сопоставимо по масштабам с гибелью от пожаров и рубками в промышленных масштабах. Гусеницы сибирского шелкопряда уничтожают хвою темнохвойных деревьев. Древостой засыхает и частично выпадает, образуя валеж. Как следствие, в большом количестве появляются вторичные зоо- и фитовредители. Пример – гибель леса в Кеть-Чулымском междуречье, где в результате вспышки сибирского шелкопряда в 1952–1957 гг. произошло усыхание темнохвойной тайги на площади 1.5 млн. га [24]. В целом, очаги сибирского шелкопряда в Красноярском крае занимают площадь около 800 тыс. га [26]. Пожароопасность на шелкопрядниках резко увеличивается. Большое количество горючих материалов обеспечивает здесь высокую интенсивность горения. После пожара, зачастую неоднократного, процесс лесовосстановления протекает как и на обычных гарях – порослью березы, осины и от налета семян со стороны стен леса.

Общепринятой теории сукцессий на сегодняшний день не существует. Напротив, можно констатировать разночтение мнений. Научная школа авторов, оригинальность методических подходов, а также несогласованность

терминологии определяет многообразие, а зачастую, несовместимость известных классификаций лесных сукцессий. Мы придерживаемся схемы, разработанной А. З. Швиденко в процессе выполнения проекта «Лесные ресурсы, проблемы окружающей природной среды и социально-экономического развития Сибири» [27]. Схема содержит основные характеристики сукцессий: происхождение, географию, последовательность смен породного состава древостоя, и обеспечивает возможность определения длительности фазовых и возрастных этапов сукцессий (составление расписания) по типам экологических модификаций лесных формаций [28]. Применительно к задаче картографирования состояния насаждений, схема была существенно упрощена. Изъяты климатоморфогенные сукцессии. Зоогенные и патогенные сукцессии рассматриваются совместно и фигурируют как биогенные. Объединены типы ценогенных сукцессий, а также направления пирогенных и антропогенных сукцессий.

Результаты картографирования состояния насаждений на 1906 г. и 2006 г. демонстрируются на примере опытного полигона (Рисунок 1, 2). За счет возможности визуального повидельного сравнения с картой состояния насаждений на 2006 г. достигается наглядность изменений за прошедшие 100 лет.

Легенда карты состояния насаждений опытного полигона на 2006 г. оформлена в виде последовательности символов. Например, запись С(С)_31_110 означает сосновое насаждение, коренную породу – сосна пирогенного происхождения без смены пород, возраст сосны – 110 лет. Коды сукцессий: биогенные – 1, ценогенные – 2, пирогенные – 3, антропогенные – 4. Направление сукцессий: без смены пород – 1, со сменой пород – 2.

При заполнении данными поля «ПРОШЛОЕ» принято одинаковое направление сукцессии – со сменой или без смены пород как для послерубочных так и для послепожарных насаждений. Конфигурация, площадь и характеристика выделов непокрытых лесом земель на 1906 г. и 2006 г. не изменены. Также учитывалось, что в лесорастительных условиях Большемуртинского лесничества после пожаров и вырубок лиственные породы (береза и осина) восстанавливаются за 1 год, сосна и лиственница – за 5 лет, ель, пихта, кедр – за 10 лет. На шелкопрядниках лесовосстановление идет со сменой пород и занимает около 20 лет [29].

Результат уменьшения возраста насаждения A на сто лет ($A-100$) может принимать положительное, отрицательное или нулевое значение.

При нулевом значении A ($A-100=0$) попадаем в год окончания периода лесовосстановления после рубки, пожара или гибели от вредителей леса (запись состояния лесотаксационного выдела на 1906 г. – «ВЫРУБКА, ГАРЬ, ШЕЛКОПРЯД»). Например, если послерубочное осиновое насаждение возрастом 100 лет и коренная порода – сосна, то запись состояния на 2006 г. – ОС(С)_42_100. Запись состояния на 1906 год – «ВЫРУБКА». Период лесовосстановления составляет 1 год, следовательно, рубка производилась в 1905 году.

При положительном значении A ($A-100 \geq 0$) меняется только возраст насаждения, т. е. на 100 лет меньше. В таких случаях запись состояния насаждения затруднений не вызывает. Например, если кедровник биогенного происхождения (после вспышки шелкопряда) возрастом 220 лет, коренная порода – кедр, то запись состояния на 2006 год – К(К)_11_220. Запись состояния на 1906 год – К(К)_11_120.

При отрицательном значении A ($A-100 < 0$) следует восстановить состояние насаждения на 1906 г. Для этого необходим возраст насаждений до внешнего воздействия A_0 . Приисковые рубки производились в возрасте количественной спелости. Для сосняков принято значение возраста (A_0) 150 лет, ельников – 150 лет, пихтарников – 130 лет. Возраст насаждения до пожара определить невозможно, поэтому безотносительно преобладающей породы насаждения выдела принято значение $A_0 - 100$ лет. Возраст темнохвойного насаждения до его поражения сибирским шелкопрядом, а также возраст березняков и осинников, которые восстанавливаются на шелкопрядниках определить невозможно, поэтому безотносительно преобладающей породы насаждения выдела принято значение $A_0 - 130$ лет. Расчет возраста на 1906 год производится по зависимости $A_{1906} = A_0 - x$, где $x = 100 - (A + n)$. Приведем примеры ниже:

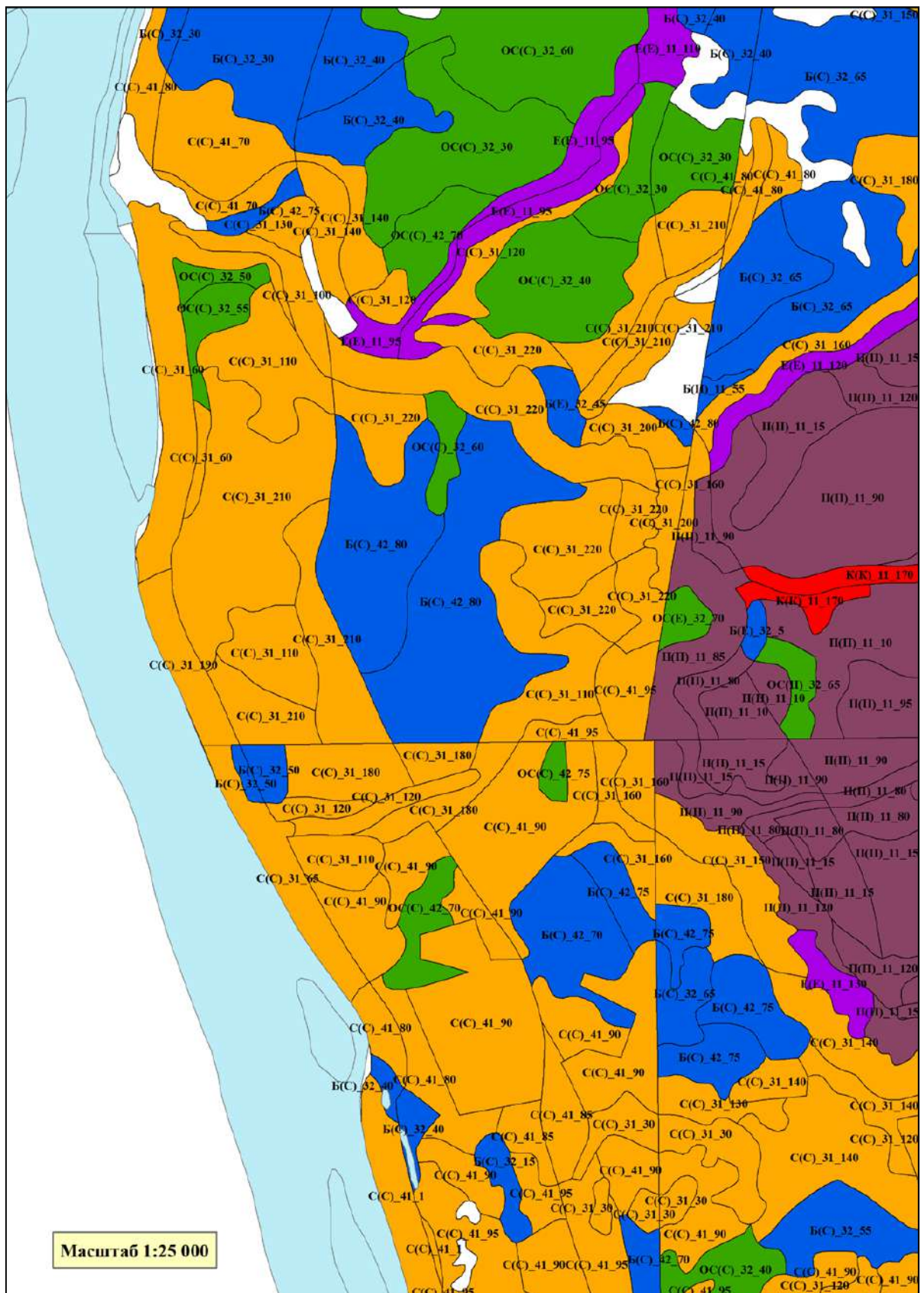


Рисунок 1. Преобладающая и коренная порода, тип и направление сукцессии, возраст древостоя по состоянию на 2006 г. (фрагмент опытного полигона)

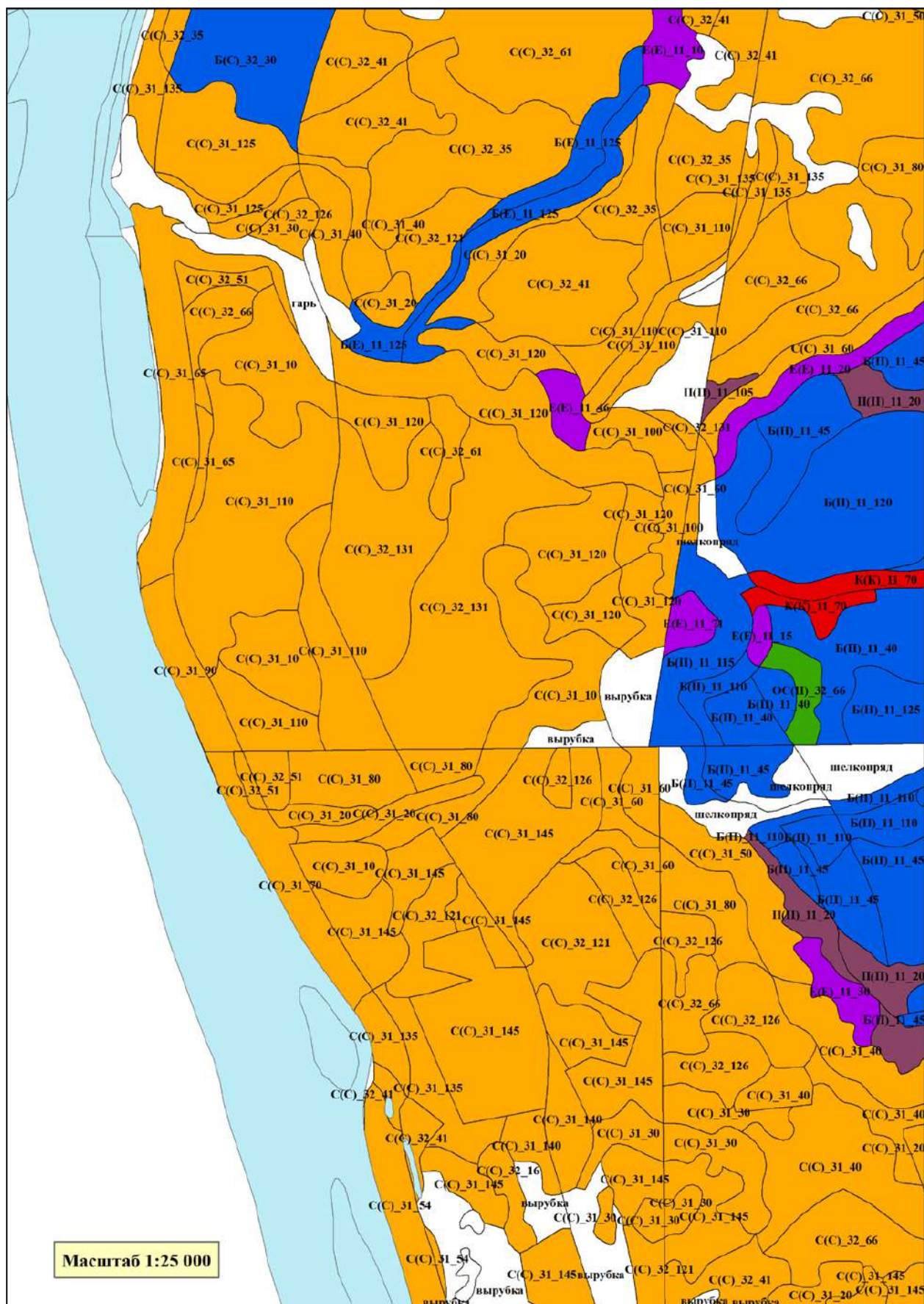


Рисунок 2. Преобладающая и коренная порода, тип и направление сукцессии, возраст древостоя по состоянию на 1906 г. (фрагмент опытного полигона)

1. Послерубочное сосновое насаждение возрастом 95 лет, коренная порода сосна. Запись состояния на 2006 г. – С(С)_41_95. В этом примере $x=0$, рубка производилась в 1906 году, запись состояния лесотаксационного выдела на 1906 год – «ВЫРУБКА».

2. Еловое насаждение после поражения сибирским шелкопрядом, коренная порода ель. Запись состояния на 2006 г. Е(Е)_11_95.

Лесовосстановление шелкопрядника происходит со сменой на производные березово-осиновые насаждения. В этом примере $x=5$, возраст березняка в 1906 был $A_0=130-5=125$ (лет), запись состояния на 1906 год Б(Е)_11_125.

3. Послерубочное сосновое насаждение возрастом 90 лет, коренная порода сосна. Запись состояния – С(С)_41_90. В этом примере $x=5$, дорубочное сосновое насаждение было пирогенного происхождения, запись состояния на 1906 год – С(С)_31_145.

Заключение

Разработка планов управления лесами многоаспектна и обосновывается в т. ч. вероятными направлениями лесообразовательного процесса. В основе принятия управленческих решений лежат первичные данные. В практике лесоуправления отдельного предприятия в качестве первичных данных используются материалы лесоустройства. На сегодняшний день это наиболее полная и достоверная информация о лесах, которая в табличном представлении ГИС идеально подходит для тематического лесного картографирования. Возможная альтернативная информация, полученная по космическим съемкам, пока не в состоянии составить конкуренцию материалам массовой таксации. Количество методов распознавания наземного покрова увеличивается, но формирование точных карт продолжает оставаться сложным вопросом [29, 30].

Данные массовой таксации, представленные в виде электронных таблиц, удобны для математического и пространственного анализа, так как позволяют получать новые научно-практические результаты. Например, можно установить нарушенность лесов за определенный период времени или произвести стоимостную оценку насаждений. Для целей принятия взвешенных управленческих решений такая информационная поддержка важна.

Список литературы

1. Araza A, de Bruin S, Herold M, Quegan S, Labriere N, Rodriguez-Veiga P, ... Lucas R 2022 A comprehensive framework for assessing the accuracy and uncertainty of global above-ground biomass maps *Remote Sensing of Environment* **272** DOI 10.1016/j.rse.2022.112917
2. Talucci A C, Loranty M M, Heather A D 2022 Siberian taiga and tundra fire regimes 2001-2020 *Environ. Res. Lett.* **17** 025001 DOI 10.1088/1748-9326/ac3f07
3. Zhang Q, Liang Y, He H.S. 2018 Tree-Lists Estimation for Chinese Boreal Forests by Integrating Weibull Diameter Distributions with MODIS-Based Forest Attributes from kNN Imputation. *Forests* **9** 758 DOI: 10.3390/f9120758

4. Maksyutov S, Sedykh V, Kuz'menko E I, Farber S K, Kalinicheva S S, Fedorov A P & Shchepashchenko D 2016 Current state of forest mapping with Landsat data in Siberia *EGU General Assembly 2016* Vol. **18** Retrieved from:<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-18105-1.pdf>
5. White J, Hermosilla T, Wulder M, Coops N 2022 Mapping, validating, and interpreting spatio-temporal trends in post-disturbance forest recovery. *Remote Sensing of Environment* **271** 112904 DOI: 10.1016/j.rse.2022.112904.
6. Khovratovich T, Bartalev S, Kashnitskii A, Balashov I, Ivanova A 2020 Forest change detection based on sub-pixel tree cover estimates using Landsat-OLI and Sentinel 2 data *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [Vol. 507](#) 012011 DOI: 10.1088/1755-1315/507/1/012011
7. Барталев С А, Егоров В А, Жарко В О, Лупян Е А, Плотников Д Е, Хвостиков С А, Шабанов Н В 2016 *Спутниковое картографирование растительного покрова России* (Москва: ИКИ РАН)
8. [8] Rees W G, Tomaney J, Tutubalina O, Zharko V, Bartalev S. 2021 Estimation of Boreal Forest Growing Stock Volume in Russia from Sentinel-2 MSI and Land Cover Classification *Remote Sensing* 13(21):4483 DOI: 10.3390/rs13214483
9. Khvostikov S A, Bartalev S A 2019 Methods for Wildfire Spread Prediction and Their Integration With Remote Sensing Data *16th All-Russia Open Conference on Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space* pp 42-47 DOI: 10.21046/rorse2018.42.
10. Bartalev S A, Stytsenko F V 2021 Assessment of Forest-Stand Destruction by Fires Based on Remote-Sensing Data on the Seasonal Distribution of Burned Areas *Contemp. Probl. Ecol.* **14** pp 711–716 DOI: 0.1134/S1995425521070027
11. Ховратович Т С, Барталев С А 2020 Методы дистанционной оценки показателей горизонтальной структуры древесного полога по данным спутниковой системы Modis. *Фундаментальные и прикладные космические исследования* С. 149-154
12. Фарбер С К, Кузьмик Н С, Брюханов Н В 2016 Погрешности дешифрирования лесов Приангарья методом классификации пикселей спутникового снимка *Сибирский лесной журнал* (Новосибирск: Изд. СО РАН) **4** С. 56-67
13. Lim K, Treitz P, Wulder M, St-Onge B 2003 Lidar remote sensing of forest structure *Progress in Physical Geography* **27** (1) pp 88-106 DOI:10.1191/0309133303pp360ra
14. Pearse G D, Watt M S, Dash J P, Stone C, Caccamo G 2019 Comparison of models describing forest inventory attributes using standard and voxel-based lidar predictors across a range of pulse densities *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* Vol. **78** pp 341-351 DOI:10.1016/j.jag.2018.10.008
15. Новаковский Б А, Ковач Н С, Энтин А Л, Калиновский Л В 2017 Геоинформационное картографирование лесного покрова по материалам воздушного лазерного сканирования *Геоинформатика* **1** С. 32-39.
16. Дубенок Н Н, Лебедев А В 2021 Гидрологическая и санитарно-гигиеническая роль лесных насаждений в условиях изменения климата на примере лесной

- опытной дачи Тимирязевской академии *Передовые технологии и материалы будущего* (Минск: БГТУ) Т. 1 С. 8-12
- 17.Рогачевская М А 2004 П. А. Столыпин: аграрная реформа и Сибирь (Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики) Retrieved from: http://econom.nsc.ru/eco/arhiv/ReadStatiy/2002_09/Rogachevskia.htm
 - 18.Коротков И А 1994 Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР *Углерод в экосистемах лесов и болот России* (Красноярск: Ин-т леса СО РАН) С. 29-47
 - 19.Бузыкин А И, Чередникова Ю С, Перевозникова В Д 2007 Лесорастительное районирование и типы леса *Региональные проблемы экосистемного лесоводства* (Красноярск: ИЛ СО РАН) С. 15-45
 - 20.Рыжкова В А 2007 Закономерности восстановительной динамики подтаежных и горнотаежных лесов *Региональные проблемы экосистемного лесоводства* (Красноярск: ИЛ СО РАН) С. 78-90
 - 21.Фалалеев Э Н 1985 *Леса Сибири* (Красноярск: КГУ)
 - 22.Соколов В А, Аткин А С, Фарбер С К и др. 1994 *Структура и динамика таежных лесов* (Новосибирск: Наука)
 - 23.Валендик Э Н 1996 Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири *Сибирский экологический журнал* 3 С. 1-8
 - 24.Фуряев В В 1996 *Роль пожаров в процессе лесообразования* (Новосибирск: Наука)
 - 25.Калиниченко Н П, Писаренко А И, Смирнов Н А 1991 *Лесовосстановление на вырубках* (Москва: Экология)
 - 26.Лямцев Н И 2019 Оценка и прогноз угрозы массового размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии* Вып. 228 С. 294-311
 - 27.[27] Nilsson S, A. Shvidenko 1993 A Biospheric Role of Siberian Ecosystems A *Research Proposal – Part 1. Forest Resources Project* (Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis) A-2361
 - 28.Фарбер С К 2000 *Формирование древостоев Восточной Сибири* (Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской Академии наук)
 - 29.Healey S P, Cohen W B, Zhiqiang Y, Krankina O N 2005 Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection *Remote Sensing of Environment* Volume 97 (3) pp 301-310 DOI: 10.1016/j.rse.2005.05.009
 - 30.Курбанов Э А, Воробьев О Н, Лежнин С А и др. 2015 *Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности* (Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет)

References

1. Araza A, de Bruin S, Herold M, Quegan S, Labriere N, Rodriguez-Veiga P, ... Lucas R 2022 A comprehensive framework for assessing the accuracy and

- uncertainty of global above-ground biomass maps *Remote Sensing of Environment* **272** DOI 10.1016/j.rse.2022.112917
2. Talucci A C, Loranty M M, Heather A D 2022 Siberian taiga and tundra fire regimes 2001-2020 *Environ. Res. Lett.* **17** 025001 DOI: 10.1088/1748-9326/ac3f07
 3. Zhang Q, Liang Y, He H.S. 2018 Tree-Lists Estimation for Chinese Boreal Forests by Integrating Weibull Diameter Distributions with MODIS-Based Forest Attributes from kNN Imputation. *Forests* **9** 758 DOI: 10.3390/f9120758
 4. Maksyutov S, Sedykh V, Kuz'menko E I, Farber S K, Kalinicheva S S, Fedorov A P & Shchepashchenko D 2016 Current state of forest mapping with Landsat data in Siberia *EGU General Assembly 2016* Vol. **18** Retrieved from:<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-18105-1.pdf>
 5. White J, Hermosilla T, Wulder M, Coops N 2022 Mapping, validating, and interpreting spatio-temporal trends in post-disturbance forest recovery. *Remote Sensing of Environment* **271** 112904 DOI: 10.1016/j.rse.2022.112904.
 6. Khovratovich T, Bartalev S, Kashnitskii A, Balashov I, Ivanova A 2020 Forest change detection based on sub-pixel tree cover estimates using Landsat-OLI and Sentinel 2 data *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* Vol. **507** 012011 DOI: 10.1088/1755-1315/507/1/012011
 7. Bartalev S A, Egorov V A, Zharko V O, Lupayn E A, Plotnikov D E, Khvostikov S A, Shabanov H B 2016 *Satellite mapping of the vegetation cover of Russia* (Moscow: Space Research Institute RAS)
 8. Rees W G, Tomaney J, Tutubalina O, Zharko V, Bartalev S. 2021 Estimation of Boreal Forest Growing Stock Volume in Russia from Sentinel-2 MSI and Land Cover Classification *Remote Sensing* **13(21)**:4483 DOI: 10.3390/rs13214483
 9. Khvostikov S A, Bartalev S A 2019 Methods for Wildfire Spread Prediction and Their Integration With Remote Sensing Data 16th All-Russia Open Conference on Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space pp 42-47 DOI: 10.21046/rorse2018.42.
 10. Bartalev S A, Stytsenko F V 2021 Assessment of Forest-Stand Destruction by Fires Based on Remote-Sensing Data on the Seasonal Distribution of Burned Areas *Contemp. Probl. Ecol.* **14** pp 711–716 DOI: 0.1134/S1995425521070027
 11. Hovratovich T S, Bartalev S A 2020 Methods of Remote Assessment of Indicators of the Tree Canopy Horizontal Structure According to the MODIS Satellite System Data [in Russian] pp 149-154 Retrieved from: <https://kmu.cosmos.ru/docs/2020/Proceedings-KMU-2020.pdf>
 12. Farber S K, Kuzmik N S, Bruykanov N V 2016 Errors in Interpretation of the Angara Region Forests by the Method of Classification of Satellite Image Pixels *Siberian Journal of Forest Science* [in Russian] **4** pp 56-67
 13. Lim K, Treitz P, Wulder M, St-Onge B 2003 Lidar remote sensing of forest structure *Progress in Physical Geography* **27** (1) pp 88-106 DOI:10.1191/0309133303pp360ra
 14. Pearse G D, Watt M S, Dash J P, Stone C, Caccamo G 2019 Comparison of models describing forest inventory attributes using standard and voxel-based lidar predictors across a range of pulse densities *International Journal of Applied Earth*

- Observation and Geoinformation Vol. 78 pp 341-351
DOI:10.1016/j.jag.2018.10.008
15. Novakovskiy B A, Kovach N S, Entin A L, Kalinovskiy L V 2017 Geoinformation Mapping of Forest Canopy Based on Airborne Laser Scanning *Геоинформатика* [in Russian] 1 pp 32-39
 16. Dubenok N N, Lebedev A V 2021 Hydrological and Public Health Function of Forest Stands under Climate Change in the Case of an Experimental Forest of the Timiryazev Academy *Advanced technologies and materials of the future* [in Russian] 1 C. 8-12
 17. Rogachevskaya M A 2004 *P A Stolypin: Agrarian Reform and Siberia* [in Russian] Retrieved from: http://econom.nsc.ru/eco/arhiv/ReadStatiy/2002_09/Rogachevska.htm
 18. Korotkov I A 1994 Forest Vegetation Zoning of Russia and the Former USSR Republics *Carbon in Ecosystems of Forests and Swamps of Russia* [in Russian] pp 29-47
 19. Buzykin A I, Cherednikova J S, Perevoznikova V D 2007 Forest Vegetation Zoning and Forest Types *Regional Issues of Ecosystem Forestry* [in Russian] pp 15-45
 20. Рыжкова В А 2007 The Pattern of Regenerative Dynamics of Subtaiga and Mountain Taiga Forests *Regional Issues of Ecosystem Forestry* [in Russian] pp 78-90
 21. Falaleev E N 1985 *Forests of Siberia* [in Russian]
 22. Sokolov V A, Atkin A S, Farber S K, et al 1994 *Taiga Forest Structure and Dynamics* [in Russian]
 23. Valendik E N 1996 Ecological Aspects of Forest Fires in Siberia *Siberian Journal of Forest Science* [in Russian] 3 C. 1-8
 24. Furayev V V 1996 *Contribution of Forest Fires to the Forest Forming Process* [in Russian]
 25. Kalinichenko N P, Pisarenko A I, Smirnov N A 1991 *Reforestation in Cutting Areas* [in Russian]
 26. Laymtsev N I 2019 Assessment and Forecast of the Siberian Silk Moth Outbreak Threat in Krasnoyarsk Forests *News of the St. Petersburg Forestry* [in Russian] 228 pp 294-311
 27. Nilsson S, A. Shvidenko A Biospheric 1993 Role of Siberian Ecosystems *A Research Proposal – Part 1. Forest Resources Project* (Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis) A-2361
 28. Farber S K 2000 *Forest Stand Formation in Eastern Siberia Формирование древостоев Восточной Сибири* [in Russian]
 29. Healey S P, Cohen W B, Zhiqiang Y, Krankina O N 2005 Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection *Remote Sensing of Environment* Volume 97 (3) pp 301-310 DOI:10.1016/j.rse.2005.05.009
 30. Kurbanov E A, Lezhnin C A, et al 2015 *Thematic Mapping of Vegetation Cover by Satellite Images: Validation and Accuracy Assessment* [in Russian]

Царалунга А.В., Лысенко В.В.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Санитарное состояние сосновых насаждений, подверженных обстрелам в Луганской Народной Республике

Аннотация. Изучение санитарного и лесопатологического состояния древостоев на стационарных пробных площадях – обязательное мероприятие, целью которого является определение биологической устойчивости насаждений, выявление очагов вредителей и болезней, изучение динамики очагов в зависимости от ряда абиотических факторов, а также основных биологических и таксационных показателей насаждений. Раскрыты особенности состояния сосновых насаждений, подверженных обстрелам в Луганской Народной Республике. Для установления взаимосвязи между основными показателями, характеризующими санитарное и лесопатологическое состояние древостоев и ведущими ослабляющими факторами необходимы дальнейшие мониторинговые наблюдения.

Ключевые слова: сосновые насаждения, Луганская Народная Республика, санитарное состояние

Tsaralunga A.V., Lysenko V.V.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh*

Sanitary condition of pine plantations exposed to shelling in the Luhansk People's Republic

Abstract. The study of the sanitary and forest–pathological condition of stands on stationary test areas is a mandatory event, the purpose of which is to determine the biological stability of plantings, identify foci of pests and diseases, study the dynamics of foci depending on a number of abiotic factors, as well as the main biological and taxation indicators of plantings. The features of the state of pine plantations exposed to shelling in the Luhansk People's Republic are revealed. Further monitoring observations are needed to establish the relationship between the main indicators characterizing the sanitary and forest-pathological state of stands and the leading weakening factors.

Key words: pine plantations, Luhansk People's Republic, sanitary condition

В результате артиллерийских и авиационных обстрелов украинской армии, заповедным территориям Луганской Народной Республики с 2014 года наносится значительный урон. Из 65 особо охраняемых природных территорий, расположенных на территории, подконтрольной Луганской Народной Республике до 19 февраля 2022, только в период активных боевых действий с июня 2014 по февраль 2015 годов пострадало 17.

В результате боевых действий целостность уникальных экосистем заповедных территорий была нарушена, особенно вдоль линии разграничения. Значительная площадь лесов залита ГСМ и другими легковоспламеняющимися жидкостями. В связи с этим изучение вопроса санитарного состояния сосновых насаждений, подверженных обстрелам в Луганской Народной Республике, является одним из актуальных.

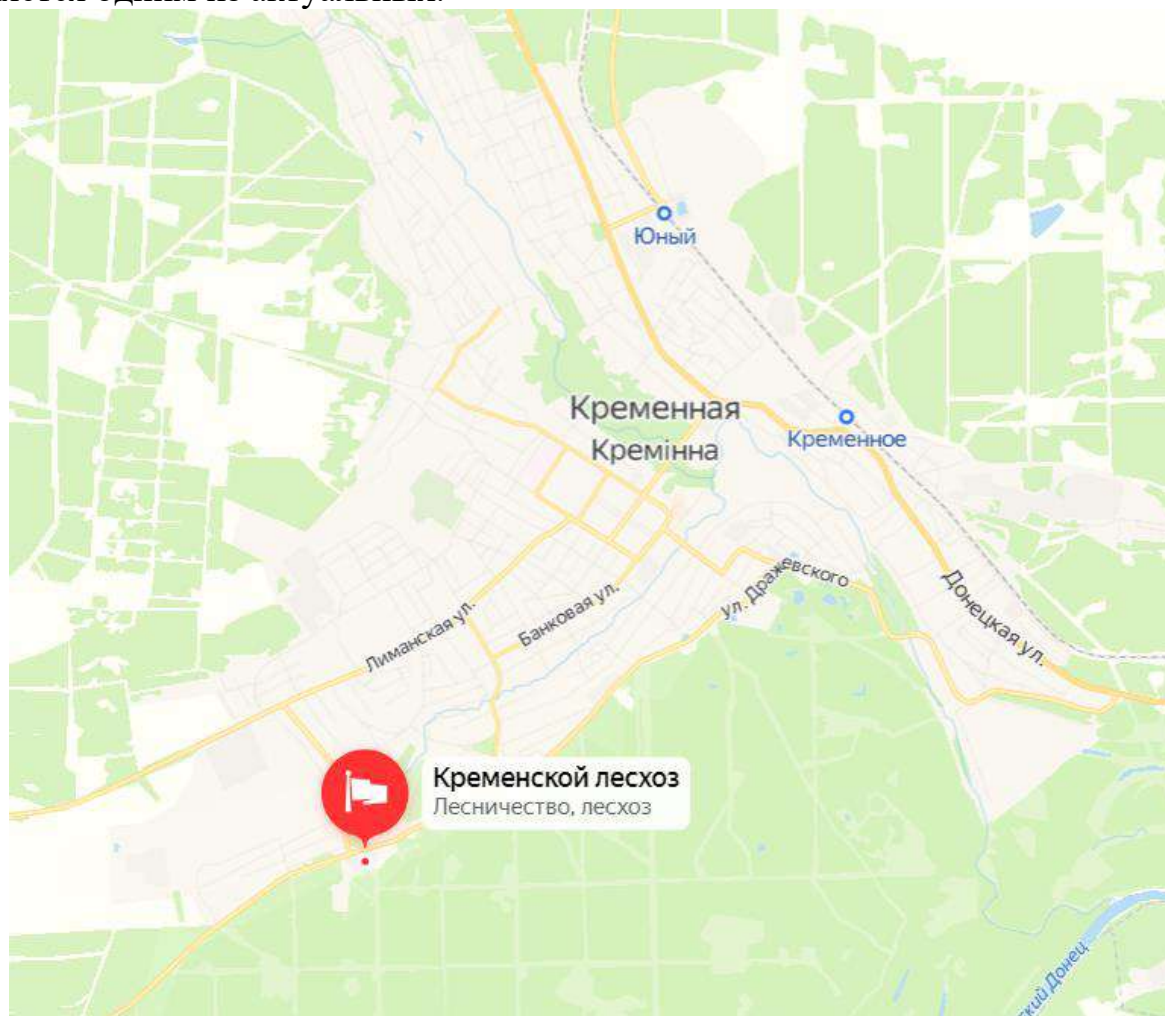


Рисунок 1. Кременской лесхоз

Объект исследования - «Кременское лесничество». Национальный природный парк был создан 10 сентября 2019 года согласно указу Президента Украины В. А. Зеленского № 678/2019 «О создании национального природного парка «Кременские леса»» (Про створення національного природного парку «Кремінські ліси»).

Создан на базе Северско-Донецкого национального природного парка, существовавшего в 11.12.2009-1.10.2010 годы, в целях сохранения,

воспроизводства и эффективного использования ценных природных комплексов и объектов бассейна реки Северский Донец, имеющих важное природоохранное, научное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение.

Общая площадь лесничества 42272 га.

Площади входящих в него участковых лесничеств представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Площади участковых лесничеств

Наименование лесничества	Административный район	Общая площадь, га
1. Житловское	Кременской	5146
2. Новокраснянское	Кременской	5194
3. Сеточное	Кременской	4077
4. Старокраснянское	Кременской	5692
5. Кудряшовское	Кременской	3887
Всего по лесничеству	г. Рубежное	327
6. Веригинское	Кременской	4704
7. Комсомольское	Кременской	4199
8. Серебрянское	Кременской	5419
9. Боровенское	Кременской	3627
Всего по госкомлесхозу		42272

Лесные биогеоценозы естественного происхождения, сформированные семенными древостоями основных лесообразующих пород, имеют признанные преимущества по биологической устойчивости, продуктивности, долговлетию экологической эффективности и другим полезным лесу и человеку свойствам. Ход естественного семенного возобновления сосны и других ценных пород под материнским пологом и на вырубках изучался отечественными лесоведами длительное время. Особое внимание уделялось воздействию способов различных рубок на семенное возобновление этих пород. Проблема приобрела остроту с ухудшением состояния, породного состава и снижением продуктивности лесов и особенно – боров. Для современных боров характерно недостаточно полное использование потенциальной производительности лесорастительных условий, наличие больших площадей с обедненным составом, отсутствием подлеска и даже живого напочвенного покрова. Кроме этого, имеется много изреженных боров порослевого происхождения высоких генераций с неудовлетворительным санитарным состоянием.

В настоящее время остро проявляется проблема сохранения боров, повышения их устойчивости к отрицательному действию экологических

факторов, продуктивности, замены малоценных лиственных древостоев на дубняки и семенные хвойно-широколиственные древостои в соответствующих лесорастительных условиях.

Среди древесных пород преобладающим и имеющий важную роль является сосна обыкновенная.

Сосна обыкновенная – вечнозеленое хвойное дерево семейства сосновых, широко распространенное на территории Евразии.

Средняя высота 35-40 м, диаметр 0,8-1,0 м. Возраст может достигать 500 лет.

Санитарное состояние насаждений – их качественная характеристика, которая определяется по соотношению деревьев разных категорий состояния. Определение санитарного состояния насаждений осуществляется путем распределения запаса на выделе (оцененного последним лесоустройством) по категориям состояния деревьев. Категория состояния деревьев – интегральная балльная оценка состояния деревьев по комплексу визуальных признаков (густоте и цвету кроны, наличию и доле усохших ветвей в кроне и др.).

Для знакомства с древостоем и его основными составными элементами, в каждом намеченном выделе заложил пробные площади, размеры которых обеспечивают наличие 200 деревьев сосны обыкновенной. Отбивка пробной площади в натуре производилась при помощи мерной ленты, привязка осуществлялась к квартальной сети.

Полевые исследования на пробных площадях производились общепринятыми методами изучения состояния и продуктивности биогеоценозов.

Таксационная характеристика древостоев пробных площадей приведена в табл. 2.

Таблица 2 – Таксационная характеристика древостоев на пробных площадях в Кременском лесничестве

Пробная площадь №	Квартал, выдел	Тип леса	ТЛУ	Состав	Категория состояния	Возраст, лет	Бонитет	Нср, м	Дср, см	Полнота	Запас на 1 га, м ³
ПП № 1	66/3	Бор	A ₁	10С	3,49	42	II	17	21	0,65	246
ПП № 2	54/2	Бор	A ₁	9С1Б	4,2	43	II	16	20	0,6	238
ПП № 3	51/2	Бор	A ₁	9С1Б+Бер, Акж, Акб	3,4	41	III	15	19	0,6	242
ПП № 4	88/4	Бор	A ₁	10С	3,15	42	II	17	21	0,65	254

Примечание: ТЛУ – тип лесорастительных условий, Нср – средняя высота древостоя, Дср – средний диаметр древостоя.

Пробные площади заложены на территории Кременского лесничества. Все пробные площади заложены в преобладающем типе лесорастительных условий A₁.



Рисунок 2. Пробная площадь № 1

Важным показателем жизнеспособности и устойчивости насаждений является состояние древостоев, определяемое в соответствии со шкалой категорий санитарного состояния [9,10]. Для каждой пробной площади рассчитано средневзвешенное значение категории состояния древостоя. Данные представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Количественное распределение деревьев по категориям состояния: числитель – штук на пробной площади, знаменатель – %

Номер ПП	Средневзвешенное значение категории состояния древостоя	Категории состояния древостоев					Всего <u>шт/га</u> %
		1	2	3	4	5	
1	3,49	-	-	<u>26</u> 32	<u>40</u> 48,5	<u>16</u> 19,5	<u>82</u> 100
2	4,2	-	<u>32</u> 15,4	<u>105</u> 50,2	<u>54</u> 25,8	<u>18</u> 8,6	<u>209</u> 100
3	3,4	-	<u>58</u> 25,3	<u>122</u> 53,3	<u>44</u> 19,2	<u>5</u> 2,2	<u>229</u> 100
4	3,15	<u>196</u> 42	<u>156</u> 33,4	<u>77</u> 16,5	<u>31</u> 6,6	<u>7</u> 1,5	<u>467</u> 100
Итого	3,56	<u>196</u> 19,9	<u>246</u> 24,9	<u>330</u> 33,4	<u>169</u> 17,1	<u>46</u> 4,7	<u>987</u> 100

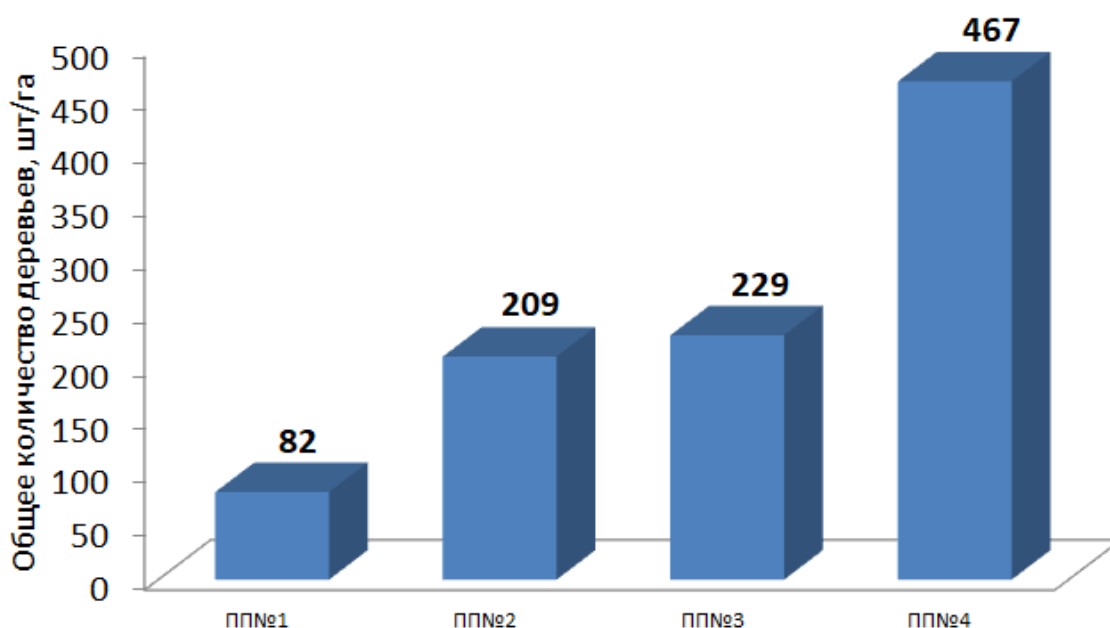


Рисунок 3. Распределение деревьев по количеству (шт/га) на пробных площадях

Количественное распределение деревьев по категориям состояния показало, что древостои на пробных площадях, отведенных под рубку спелых и перестойных насаждений, распределяются неравномерно. Свежий и старый сухостой на отведенных участках составляет около 11%. Преобладают деревья 3 и 4 категорий состояния. Средневзвешенное значение категории состояния показало, что древостои имеют сильно ослабленное состояние.

Наглядное распределение деревьев по количеству (шт/га) на пробных площадях приведено на рисунке 3.

Напочвенный покров на пробных площадях №1 и № 2 отсутствует. Подлесок представлен редко встречающимися деревьями акации белой.

Таблица 4 – Описание живого напочвенного покрова на пробной площади № 3

Биологический вид	Проективное покрытие, %
Заячья капуста(<i>Oxalis acetosella</i>)	85
Лапчатка песчаная(<i>Potentilla arenaria</i>)	10
Василиск сумский(<i>Centaurea sumensis</i> Kalen)	5

Таблица 5 – Описание живого напочвенного покрова на пробной площади № 4

Биологический вид	Проективное покрытие, %
Заячья капуста(<i>Oxalis acetosella</i>)	55
Лапчатка песчаная(<i>Potentilla arenaria</i>)	45

Учет напочвенного покрова на пробных площадях №3 и №4 показал, различное количество биологических видов растений.

Живой напочвенный покров приурочен к просветам древесно-кустарникового полога, представлен редкими растениями: заячьей капустой (*Oxalis acetosella*), лапчаткой песчаной (*Potentilla arenaria*) и васильком сумским (*Centaurea sumensis* Kalen). Под пологом древесных и кустарниковых пород живой напочвенный покров менее развит.

В результате наших исследований можно сделать вывод, что наилучшим способом восстановления лесорастительных условиях Луганской области является создание лесных культур по полосам. Самым распространенным способом создания лесных культур в области является посадка лесных культур по бороздам по причине того, что большая часть лесокультурной площади представлена склонами крутизной от 8 до 15 градусов. В таких культурах необходимо своевременно проводить лесохозяйственные мероприятия, направленные на уничтожение кустарниковой и травянистой растительности.

Заключение

Восстановление насаждений на Луганщине процесс очень долгий и трудоемкий. Время восстанавливать леса пока еще не наступило.

Мы уже задумываемся как провести восстановление и оздоровление поврежденных выстрелами насаждений в будущем. Нужно будет провести сплошные рубки. Но все эти мероприятия по восстановлению насаждений будут проводиться по окончании проведения специальной военной операции в зоне проведения активных боевых действий, после очистки насаждений от снарядов, мин.

Список литературы

1. Санітарні правила в лісах України. Затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 04.07.1995 р. № 555. 17 с.
2. Авров Ф.Д. Генетическая устойчивость лесов//Лесное хозяйство, 2001. №3. С. 46-47.
3. Атрохин, В.Г. Лесоводство и дендрология / В. Г. Атрохин. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 368 с.
4. Загибель лісових насаджень за причинами (2010-2018). Держстат України, 1998-2019. Остання модифікація: 15.04.2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу:
http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/sg/lis/zld/zld_u/zag_lis_za_prysh_u.htm. Дата звернення: Верес. 20, 2019.
5. Козлов, А. Т. Особенности экологического кризиса на примере крупного промышленного города / А. Т. Козлов, Л. В. Тринеева, Н. Л. Прохорова // Проблемы охраны окружающей среды современного города: Материалы I Межрегиональной научно-практической конференции, Воронеж, 30 мая 2005 года. – Воронеж: Кривичи, 2005. – С. 9-13.
6. Мозолевская Е.Г. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса / Е.Г. Мозолевская, О.А. Катаев, Э.С. Соколова. М.: Изд-во "Лесн. пром-сть", 1984. 152 с.
7. Гарбузова, Т. Г. Система экологической биобезопасности как важный элемент реализации концепции устойчивого развития / Т. Г. Гарбузова // Экология и здоровье человека: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, памяти профессора Ю.Д. Жилова, Москва, 28 февраля – 01 2022 года / Отв. редактор Ю.П. Молоканова. – Москва: Московский государственный областной университет, 2022. – С. 113-115.
8. Шутов И.В., Л.Н. Товкач, Н.М. Минакова и др. Значение неравномерного размещения деревьев в культурах сосны // Лесное хозяйство, 2001. №4. С. 18-20.
9. Царалунга, В. В. Лесопатологическое состояние древостоя географического парка ботанического сада им. Проф. Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета / В. В. Царалунга, Н. Л. Прохорова, А. А. Воронин // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 1(25). – С. 33-41.
- 10.Царалунга, А. В. Проблема экологизации отечественного лесопользования и лесовосстановления / А. В. Царалунга, Н. Л. Прохорова // Наука и хозяйство. – 2014. – № 5. – С. 61-63.
- 11.Yakovenko, N. V. Socio-Ecological Well-Being of the Population (the Regions of the Central Federal District are Example) / N. V. Yakovenko, O. V. Didenko, I. V. Safonova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Russky Island, 04–06 марта 2019 года. Vol. 272, 3. – Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 032035. – DOI 10.1088/1755-1315/272/3/032035.

References

1. Sanitary rules in the lists of Ukraine. *Zatv.* By the decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine vid 04.07.1995 p. No. 555. 17 p.
2. Avrov F.D. Genetic stability of forests//Forestry, 2001. No.3. pp. 46-47.
3. Atrokhin, V.G. Forestry and dendrology / V. G. Atrokhin. – M.: Lesn. prom-st, 1986. – 368 p.
4. The bend of the lisovih nasajen for the reasons (2010-2018). Derzhstat of Ukraine, 1998-2019. Ostannya modifikatsiya: 15.04.2019. [Electronic resource]. Access mode:
http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/sg/lis/zld/zld_u/zag_lis_za_prych_u.htm . Date of the animal: Veres. 20, 2019.
5. Kozlov, A. T. Features of the ecological crisis on the example of a large industrial city / A. T. Kozlov, L. V. Trineeva, N. L. Prokhorova // Problems of environmental protection of a modern city: Materials of the I Interregional scientific and practical Conference, Voronezh, May 30, 2005. – Voronezh: Krivichi, 2005. – pp. 9-13.
6. Mozolevskaya E.G. Methods of forest pathology examination of foci of stem pests and forest diseases / E.G. Mozolevskaya, O.A. Kataev, E.S. Sokolova. M.: Publishing house "Lesn. prom-st", 1984. 152 p.
7. Garbuzova, T. G. Ecological biosafety system as an important element of the implementation of the concept of sustainable development / T. G. Garbuzova // Ecology and human health: Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, in memory of Professor Yu.D. Zhilov, Moscow, February 28 – 01, 2022 / Editor-in-chief Yu.P. Molokanova. – Moscow: Moscow State Regional University, 2022. – pp. 113-115.
8. Shutov I.V., L.N. Tovkach, N.M. Minakova et al. The significance of uneven placement of trees in pine crops // Forestry, 2001. No. 4. pp. 18-20.
9. Tsaralunga, V. V. The forest-pathological state of the forest stand of the geographical park of the Botanical Garden. Prof. B.M. Kozo-Polyansky Voronezh State University / V. V. Tsaralunga, N. L. Prokhorova, A. A. Voronin // Forestry Journal. – 2017. – Vol. 7, No. 1(25). – pp. 33-41.
10. Tsaralunga A.V., Prokhorova N. L. problema ekologizatsii otechestvennogo lesopolzovaniya I lesovosstavleniya [the problem of ecology of domestic forest use and forest restoration]. – 2014. – № 5. - PP. 61-63.
11. Yakovenko, N. V. Socio-Ecological Well-Being of the Population (the Regions of the Central Federal District are Example) / N. V. Yakovenko, O. V. Didenko, I. V. Safonova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Russky Island, 04–06 марта 2019 года. Vol. 272, 3. – Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 032035. – DOI 10.1088/1755-1315/272/3/032035.

Чернышов М.П.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Динамика породного состава лесов Центрального Черноземья
как критерий оценки их биоразнообразия и устойчивого выполнения
прижизненных полезных функций**

Аннотация. Предметом комплексных исследований служили защитные леса европейской части Российской Федерации и особенности динамики породного состава лесных насаждений, объединяющих все возрастные группы. Цель исследований – выявить особенности изменения породного и качественного состава лесов во времени и пространстве, обусловленные как естественными процессами роста и развития насаждений, так и под влиянием хозяйственной деятельности, а также положительные и негативные тенденции его динамики по занимаемой основными лесообразующими древесными породами площади и по наличному запасу древесины. При проведении НИР применяли общеизвестные аналитико-сравнительные методы и использовались официальные материалы отраслевой статистической отчетности. На примере пяти областей Центрального Черноземья проанализирована многолетняя динамика главных лесообразующих пород по занимаемой ими площади и по накопленному запасу древесины с 1978 г. Определены резервы и предложены пути решения накопившихся проблем.

Ключевые слова: защитные леса, Центральное Черноземье, главные породы, состав, дуб, сосна, биоразнообразие.

Chernyshov M.P.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Dynamics of forest species composition of the Central Chernozem Region
as a criterion for assessing their sustainable functioning and biodiversity**

Abstract. The subject of complex research was the protective forests of the European part of the Russian Federation and the dynamics of the species composition of forest plantations that unite all age groups. The purpose of the research is to identify the features of changes in the species and quality composition of forests in time and space, due to both natural processes of growth and development of plantations, and under the influence of economic activities, as well as positive and negative trends in

its dynamics in terms of the area occupied by the main forest-forming tree species and in terms of available wood stock. When conducting research, well-known analytical and comparative methods were used and official materials from industry statistical reporting were used. Using the example of five regions of the Central Black Earth Region, the long-term dynamics of the main forest-forming species was analyzed in terms of the area they occupy and the accumulated wood reserves since 1978. Reserves were identified and ways to solve the accumulated problems were proposed.

Key words: protective forests; Central Black Earth Region; main breeds; compound; oak; pine; biodiversity.

1. Введение

Площадь лесов, их запас, породный состав и жизненное состояние являются ключевыми показателями оценки эффективности ведения лесного хозяйства в каждом субъекте РФ. Центральное Черноземье (ЦЧ) относится к малолесным регионам России с интенсивным лесным хозяйством. В настоящее время леса всех областей ЦЧ в соответствии с их экономическим, экологическим и социальным значением, а также выполняемыми прижизненными функциями отнесены в разных долях к пяти защитным лесам. Их породный состав, качество и санитарное состояние не в полной мере соответствуют потенциалу лесорастительных условий в областях ЦЧ.

Основными лесообразующими древесными породами в лесном фонде региона являются дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.), сформировавшие насаждения разного возраста, полноты, состава, продуктивности и происхождения (семенные, семенно-порошковые, порошковые и искусственные) в разных по площади пропорциях. За последнее десятилетие из состава лесов из-за развития очагов вредных организмов снизилась доля ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.).

2. Материалы и методы

При проведении исследований применяли общеизвестные в лесной таксации аналитико-сравнительные методы обобщения и оценки материалов отраслевой статистической отчетности на основе сбора, последующей систематизации и структуризации данных о площади и запасах древесины лесных насаждений по лесообразующим древесным породам за разные календарные периоды [1-6]. На примере пяти областей ЦЧ (Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая и Тамбовская), рассмотрены в динамике показатели долей площади и запасов древесины лесных насаждений по 5-летним периодам с 1978 года. Доли участия основных лесообразующих пород в средневзвешенной формуле состава лесов в каждом субъекте ЦЧ рассчитывали отдельно по площади и по запасу. Для достижения намеченных целей расчеты проводили для каждого календарного периода учета лесов следующим образом:

а) через процентное соотношение занимаемой площади лесными насаждениями с её преобладанием в их составе к общей площади земель, занятых лесами;

б) через процентное соотношение наличного запаса сырораствующей древесины лесных насаждений всех возрастных групп каждой породы к общему запасу всей их совокупности в субъекте.

Примененный системный подход позволил не только собрать объективные данные и сделать их развернутый анализ, но и получить новые результаты для устойчивого управления лесами на среднесрочный планируемый период, в том числе для разработки Лесных планов субъектов ЦЧ на очередной период.

3. Литературный обзор

Различным проблемам биоразнообразия лесов посвящены сотни научных статей [7, 8] и десятки монографий [9, 10] применительно к разным лесорастительным зонам и лесным районам. В 1972 г. ООН приняла Концепцию «О сохранении биологического разнообразия» [11].

Новизна наших исследований состоит в том, результаты региональной оценки динамики породного состава лесов ЦЧ получены на основе комплексного системного подхода. Они являются существенным вкладом в устойчивое управление лесами и позволяют не только выявить сложившиеся тренды в изменении породного состава лесов по субъектам ЦЧ и региону в целом на научной основе, но и использовать их для целей перспективного планирования и разработки очередных Лесных планов субъектов РФ, которые направлены на формирование целевых лесов будущего.

4. Результаты

Биологическое разнообразие растительного мира определяется численностью видов на разных экосистемных уровнях. Принято различать α -, β - и γ -разнообразие. В связи с тем, что территория исследуемого региона географически расположена преимущественно в лесостепной лесорастительной зоне (100% Белгородской, Курской, Липецкой и Тамбовской областей) и частично (около 30 % на юге Воронежской области) в зоне степей европейской части РФ, то существующее здесь биоразнообразие лесных сообществ естественного происхождения является типичным, чего нельзя сказать о лесных насаждениях искусственного происхождения (лесные культуры). В составе естественных насаждений в зависимости от типа леса в разном соотношении встречается 35-40 видов древесных растений и около 25 видов кустарников. Формулы состава сильно разнятся по таксационным выделам.

Многолетнюю динамику долей участия (% от общего) в породном составе лесов ЦЧ основных лесобразующих древесных пород по их площади и по наличному запасу сырораствующей древесины, выявленную по официальным данным проведенных государственных учетов лесного фонда [1-6] по состоянию на 1 января 1978, 1983, 1998, 2008, 2014 и 2019 гг., характеризуют показатели таблицы 1.

Таблица 1 – Изменение формул породного состава лесов ЦЧ по периодам их единовременного учета по площади основных лесообразующих пород

Год учета лесов	Площадь, тыс. га	Доли основных лесообразующих пород в формулах состава лесов, %
Белгородская область		
1978	203,0	10,7С 45,9Дв/ст 35,7Дн/ст 7,7Прч.
1983	202,9	10,8С 45,5Дв/ст 35,8Дн/ст 7,9Прч.
1998	202,7	9,5С 48,4Дв/ст 30,5Дн/ст 11,6Прч.
2008	203,8	9,3С 49,1Дв/ст 30,0Дн/ст 11,6Прч (Яс, Ос, Кл, Ол, Б и др.)
2014	216,8	9,3С 48,8Дв/ст 26,9Дн/ст 15,0Прч. (Яс, Ос, Ол, Кл, Б и др.)
2019	219,8	9,0С 54,5 Дв/ст 18,9Дн/ст 17,6Прч (Яс, Ос, Ол, Б и др.)
Воронежская область		
1978	327,6	31,8С 21,1Дв/ст 30,6Дн/ст 4,5Ос 12,0Прч.
1983	327,9	31,4С 20,3Дв/ст 29,8Дн/ст 4,5Ос 14,0Прч.
1998	345,8	29,9С 22,7Дв/ст 24,6Дн/ст 5,3Ос 17,5Прч.
2008	351,4	29,5С 19,5Дв/ст 26,8Дн/ст 5,7Ос 18,5Прч. (Яс, Ол, Б, Кл и др.)
2014	340,1	25,5С 20,2Дв/ст 27,9Дн/ст 5,9Ос 4,8Ол 4,7Яс 11,0Прч (Б, Кл и др.)
2019	349,9	24,7С 20,9Дв/ст 26,2Дн/ст 5,9Ос 5,7Яс 5,1Ол 2,6Б 8,9Прч (Кл и др.)
Курская область		
1978	184,9	10,2С 15,1Дв/ст 54,6Дн/ст 6,5Ос 4,5Б 9,1Прч.
1983	188,0	10,1С 15,6Дв/ст 53,1Дн/ст 6,1Ос 4,9Б 10,2Прч.
1998	196,8	11,3С 32,5Дв/ст 33,0Дн/ст 5,8Ос 5,0Б 12,4Прч.
2008	202,1	11,6С 28,5Дв/ст 28,5Дн/ст 7,5Ос 6,1Б 17,8Прч. (Яс, Ол, Кл и др.)
2014	219,8	11,8С 14,2Дв/ст 36,3Дн/ст 8,1Б 7,8Ос 7,5Яс 14,3Прч (Ол, Кл и др.)
2019	219,8	11,9С 15,0Дв/ст 35,9Дн/ст 8,1Б 7,8Ос 7,5Яс 5,1Ол 8,7Прч (Кл и др.)
Липецкая область		
1978	141,7	36,6С 16,1Дв/ст 25,7Дн/ст 8,2Б 6,4Ос 5,5Ол 1,5Прч.
1983	144,0	39,0С 16,1Дв/ст 24,7Дн/ст 7,9Б 5,6Ос 5,3Ол 1,4Прч.
1998	144,2	37,2С 21,3Дв/ст 18,7Дн/ст 9,4Б 5,3Ос 5,7Ол 2,4Прч.
2008	163,8	37,7С 18,9Дв/ст 17,3Дн/ст 12,5Б 4,9Ос 5,4Ол 3,3Прч. (Яс, Кл и др.)
2014	155,2	34,2С 9,3Дв/ст 28,7Дн/ст 3,0Б 5,6Ол 5,1Ос 14,1Прч (Кл, Яс и др.)
2019	165,2	34,3С 10,1Дв/ст 27,4Дн/ст 13,0Б 5,8Ол 4,2Ос 1,4Яс 3,8Прч (Кл и др.)
Тамбовская область		
1978	289,0	44,3С 0,1Дв/ст 18,9Дн/ст 14,8Б 14,5Ос 5,4Ол 2,0Прч.
1983	290,1	45,7С 2,2Дв/ст 15,9Дн/ст 15,4Б 13,3Ос 5,1Ол 2,4Прч.
1998	299,7	47,1С 10,5Дв/ст 6,7Дн/ст 15,6Б 11,9Ос 5,0Ол 3,2Прч.
2008	303,7	46,4С 8,7Дв/ст 7,4Дн/ст 17,4Б 11,9Ос 5,1Ол 3,1Прч. (Кл, Яс и др.)
2014	350,1	45,3С 3,8Дв/ст 11,6Дн/ст 18,3Б 11,3Ос 5,7Ол 4,0Прч (Кл, Яс и др.)
2019	342,3	44,1С 3,9Дв/ст 11,3Дн/ст 19,1Б 11,2Ос 5,8Ол 7,6Прч (Яс, Кл и др.)
Всего по ЦЧ		
1978	1146,2	28,3С 18,6Дв/ст 31,8Дн/ст 7,1Ос 5,9Б 4,2Ол 4,11Прч.
1983	1152,9	28,8С 18,9Дв/ст 30,5Дн/ст 6,7Ос 6,1Б 4,1Ол 4,9Прч.
1998	1189,2	28,6С 25,5Дв/ст 21,7Дн/ст 6,6Ос 6,6Б 4,3Ол 6,7Прч.
2008	1224,8	28,5С 23,1Дв/ст 21,5Дн/ст 7,0Б 6,5Ос 2,0Ол 11,4Прч.
2014	1282,0	26,8С 18,3Дв/ст 24,9Дн/ст 8,7Б 7,0Ос 4,8Ол 9,5Прч (Яс, Кл и др.)
2019	1297,0	24,2С 19,7Дв/ст 22,8Дн/ст 33,3 (остальные + прочие)

Примечание: * В формулах состава указаны общепринятые сокращенные названия древесных пород и их доли в %. Прочие породы указаны в скобках по убыванию их долей.

Многолетнюю динамику породного состава лесов ЦЧ в разрезе основных лесообразующих пород по наличному запасу древесины, выявленную по официальным данным проведенных государственных учетов лесного фонда [1-6] по состоянию на 1 января 1978, 1983, 1998, 2008, 2014 и 2019 гг., характеризуют показатели таблицы 2.

Таблица 2 – Изменение формул породного состава лесов ЦЧ, исчисленных по периодам их единовременного учета по запасу древесины основных лесообразующих пород

Год учета лесов	Запас, млн. м ³	Доли основных лесообразующих пород в формулах состава лесов по запасу, %
Белгородская область		
1978	23,86	8,7С 55,3Дв/ст 30,4Дн/ст 5,6Прч (Яс, Ос, Ол, Б, Кл и др.)
1983	23,35	8,8С 54,2Дв/ст 31,5Дн/ст 5,5Прч. (Яс, Ос, Ол, Б, Кл и др.)
1998	34,32	12,5С 53,5Дв/ст 25,3Дн/ст 8,7Прч (Яс, Ос, Ол, Б, Кл и др.)
2008	33,97	12,1С 54,1Дв/ст 25,3Дн/ст 8,5Прч (Яс, Ос, Ол, Б, Кл и др.)
2014	39,09	12,4С 53,0Дв/ст 22,9Дн/ст 2,5 Ос, 2,3 Ол 6,9Прч (Яс, Б, Кл и др.)
2019	47,14	10,6С 58,2Дв/ст 16,3Дн/ст 2,8Ос, 2,2Ол, 9,9Прч (Яс, Б, Кл и др.)
Воронежская область		
1978	35,31	29,5С 29,8Дв/ст 27,6Дн/ст 4,3Ос 8,8Прч (Ол, Яс, Б, Кл и др.)
1983	40,88	33,5С 27,1Дв/ст 24,9Дн/ст 3,9Ос 10,6Прч (Ол, Яс, Б, Кл и др.)
1998	48,16	38,4С 28,0Дв/ст 18,4Дн/ст 3,8Ос 11,4Прч (Ол, Яс, Б, Кл и др.)
2008	62,00	38,9С 22,4Дв/ст 20,7Дн/ст 4,8Ос 13,2Прч. (Ол, Яс, Б, Кл и др.)
2014	56,89	34,4С 23,5Дв/ст 22,4Дн/ст 5,3Ос 4,6Ол 2,9Яс 6,9Прч (Б, Кл и др.)
2019	61,84	30,6С 25,6Дв/ст 21,0Дн/ст 5,8Ос 5,4Ол 4,1Яс 1,5Б 6,0Прч (Кл и др.)
Курская область		
1978	14,08	13,9С 6,9Дв/ст 56,0Дн/ст 8,7Ос 4,7Б 9,8Прч (Яс, Ол, Кл и др.)
1983	18,45	13,4С 10,5Дв/ст 53,8Дн/ст 7,9Ос 5,0Б 9,4Прч (Яс, Ол, Кл и др.)
1998	25,56	14,3С 34,0Дв/ст 28,4Дн/ст 7,5Ос 5,2Б 10,6Прч (Яс, Ол, Кл и др.)
2008	31,90	14,3С 28,5Дв/ст 25,3Дн/ст 9,2Ос 6,1Б 16,6Прч. (Яс, Ол, Кл и др.)
2014	41,21	14,9С 11,1Дв/ст 36,5Дн/ст 9,3Ос 7,7Б 7,1Яс 13,4Прч (Ол, Кл и др.)
2019	40,55	14,9С 11,4Дв/ст 35,9Дн/ст 9,4Ос 7,7Б 7,1Яс 5,7Ол 7,9Прч (Кл и др.)
Липецкая область		
1978	19,98	43,9С 13,2Дв/ст 22,9Дн/ст 7,0Б 7,0Ос 5,3Ол 0,7Прч (Яс, Кл и др.)
1983	19,27	44,5С 13,7Дв/ст 22,8Дн/ст 6,7Б 6,3Ос 4,9Ол 1,1Прч (Яс, Кл и др.)
1998	23,15	45,3С 20,5Дв/ст 15,7Дн/ст 7,3Б 4,9Ос 4,5Ол 1,8Прч (Яс, Кл и др.)
2008	30,64	45,3С 18,2Дв/ст 15,0Дн/ст 9,6Б 4,7Ос 4,7Ол 2,5Прч. (Яс, Кл и др.)
2014	28,41	42,5С 6,7Дв/ст 28,9Дн/ст 9,4Б 5,0Ос 4,8Ол 9,4Прч (Яс, Кл и др.)
2019	33,13	42,2С 8,4Дв/ст 27,6Дн/ст 8,2Б 6,0Ол 3,8Ос 3,8Прч (Яс, Кл и др.)
Тамбовская область		
1978	37,14	51,9С 0,0Дв/ст 17,5Дн/ст 12,3Ос 12,3Б 4,3Ол 1,7Прч (Кл, Яс и др.)
1983	44,58	52,7С 0,9Дв/ст 14,8Дн/ст 13,6Ос 12,0Б 4,3Ол 1,7Прч (Кл, Яс и др.)
1998	50,38	56,9С 10,2Дв/ст 4,5Дн/ст 11,4Ос 10,9Б 4,4Ол 1,7Прч (Кл, Яс и др.)
2008	60,99	56,5С 7,1Дв/ст 5,7Дн/ст 11,8Ос 12,3Б 4,6Ол 2,0Прч (Кл, Яс и др.)
2014	66,75	56,8С 2,1Дв/ст 10,5Дн/ст 11,1Ос 12,3Б 5,0Ол 2,2Прч (Кл, Яс и др.)
2019	65,92	54,9С 2,3Дв/ст 10,4Дн/ст 11,6Ос 13,1Б 5,3Ол 2,4Прч (Яс, Кл и др.)
Всего ЦЧ		
1978	130,37	32,6С 21,0Дв/ст 27,8Дн/ст 7,3Ос 5,4Б 3,9Ол 2,0Прч (Яс, Кл и др.)
1983	146,53	34,3С 19,6Дв/ст 26,2Дн/ст 7,4Ос 5,5Б 4,0Ол 3,0Прч (Яс, Кл и др.)
1998	181,57	36,1С 27,8Дв/ст 16,9Дн/ст 6,3Ос 5,1Б 3,7Ол 4,1Прч (Яс, Кл и др.)
2008	219,68	37,0С 23,4Дв/ст 17,1Дн/ст 6,6Ос 5,6Б 1,9Ол 8,4Прч (Яс, Кл и др.)
2014	232,35	32,6С 18,1Дв/ст 22,4Дн/ст 7,2Ос 6,6Б 4,5Ол 8,6Прч (Яс, Кл и др.)
2019	248,58	37,9С 21,0Дв/ст 20,6Дн/ст 7,1Ос 13,4 (остальные + прочие)

5. Обсуждение результатов

Формулы состава лесов для сопоставимости данных о произошедших за последние десятилетия изменениях в лесном фонде и объективности их анализа рассчитаны по всем областям ЦЧ как средневзвешенные отдельно по занимаемой площади и по наличному запасу сырораствующей древесины лесных насаждений всех возрастных групп с выделением долей основных лесообразующих пород.

В результате проведенного анализа установлено, что за рассматриваемые 3,5 десятилетия в лесном фонде региона произошли существенные изменения, которые по-разному отразились на динамике состава лесов в каждой области ЦЧ. Так, в Белгородской области с 1978 по 1998 год доля сосны по занимаемой площади уменьшилась на 1,2%, хотя по запасу, она увеличилась на 3,8%. Последнее обусловлено увеличением возраста древостоев. Увеличилась по площади доля высокоствольных дубрав за счет создания лесных культур дуба.

Доля низкоствольных насаждений дуба уменьшилась и по площади, и по запасу, что связано с вырубкой спелых порослевых древостоев и своевременным созданием на их месте лесных культур. Доля прочих пород увеличилась и по площади, и по запасу, что является негативным с хозяйственно-экономической точки зрения. За 1998-2008 гг. существенных изменений не произошло, показатели изменились не более чем на 1%. За 2008-2014 гг. доля высокоствольных и низкоствольных дубрав в Белгородской области уменьшилась как по площади, так и по запасу. К 2019 г. площадь высокоствольного дуба достигла 58,2 %, а низкоствольного – 16,3 % от лесопокрытой. Эта тенденция сохраняется и в настоящее время. За анализируемый период доля сосновых насаждений по запасу оставалась стабильной – 8,7-9,3 %, а по площади уменьшилась с 10,7 до 9,3 %. Ситуация достаточно стабильная, а оценка – удовлетворительная.

Аналогичная ситуация сложилась и в лесном фонде Воронежской области, за исключением того, что за первые 20 лет здесь произошло небольшое увеличение прочих пород: на 1% по площади и на 1,9% по запасу. Доля насаждений сосны по запасу повысилась на 8,9%. На 6% сократилась доля площади низкоствольных дубрав, а высокоствольных увеличилась лишь на 1,6%. Уменьшение доли высокоствольных насаждений дуба по запасу незначительное (1,8%), а у низкоствольных оно составило 9,2%. За 1998-2008 гг. из-за лесных пожаров доля площади насаждений сосны уменьшилась на 0,4%, а по запасу – на 0,5%. На 3,2% сократилась доля площади низкоствольных дубрав (рисунок 1), а высокоствольных увеличилась за счет лесных культур лишь на 2,2% (рисунок 2).



Рисунок 1. Порослевое дубовое насаждение в Воронежской нагорной дубраве



Рисунок 2. Осветления в смыкающихся культурах дуба черешчатого

Запас высокоствольных дубовых насаждений уменьшился на 5,6%, а запас низкоствольных увеличился на 2,3 %. За 2008-2014 гг. из-за лесных пожаров в

августе 2010 г. доля площади сосны уменьшилась до 25,5%, а по запасу – до 34,4%. Незначительно увеличилась доля площади высокоствольных дубрав (0,7%) и доля их запаса (1,1%). За это же время доля прочих пород уменьшилась и по площади, и по запасу. В целом ситуация достаточно стабильная, но должна быть – лучше и по площади и по запасу растущей древесины главных лесообразующих пород.

В Курской области резких отличий в долях хвойных пород по площади и по запасу за анализируемый период нет, они составляют соответственно 0,4 и 0,9%. С 1978 по 1998 год возросла на 17,4% доля высокоствольных дубрав по площади и на 27,1% по запасу. Это свидетельствует о больших объемах создания лесных культур дуба, их хорошей приживаемости, сохранности и качестве. В области с 1998 по 2008 год произошли следующие изменения: доля площади дубовых высокоствольных насаждений за анализируемый период увеличилась на 4% и по запасу – на 5,5%. Так же произошло увеличение доли прочих пород по площади на 5,4% и запасу на 6%, что характеризует существующие недостатки в нежелательной смене пород.

За 10 лет рост доли дубовых насаждений по запасу происходил за счет увеличения их возраста и текущего прироста древесины. В результате рубок переформирования и реконструкции значительно уменьшилось участие древостоев дуба порослевого происхождения. Малозаметно снижались доли насаждений мягколиственных пород, составившее всего 1,2% по площади и 3,9% по запасу. К тому же в области в 2008-2014 гг. продолжалось стремительное уменьшение доли высокоствольных дубрав и увеличение низкоствольных.

По Липецкой области резких колебаний в усредненном составе лесов не наблюдается по всем древесным породам. Различия укладываются в точность вычислений и не превышают 5-6%. За период с 1998 по 2014 гг. положение оставалось стабильным, различия по средневзвешенному коэффициенту в формуле состава и по площади и по запасу для всех лесообразующих пород не превышали 3%. Отмеченные особенности свидетельствуют о стабильности состава лесов Липецкой области, об устойчивом их развитии и правильном ведении лесного хозяйства. Вместе с тем, за 2008-2014 гг. в области сократились доли сосновых насаждений (по площади на 3,5%, по запасу на 16,9 %) и высокоствольных дубрав (на 9,6 и 11,5 % соответственно). Такая ситуация явно негативная, а наметившаяся тенденция – настораживает и вызывает серьезную обеспокоенность лесоводов.

В Тамбовской области произошло увеличение доли хвойных пород и по площади за счет лесных культур, и по запасу из-за взросления насаждений. Отрадно, что к 1998 г. увеличилось участие высокоствольных дубрав до такого уровня, что они появились в усредненной формуле состава лесов области. Это объясняется тем, что при последнем лесоустройстве низкоствольные дубравы высших бонитетов Ia, I и II, а также I и II порослевых генераций было решено отнести к высокоствольному хозяйству, соответственно, видно резкое снижение его участия. Доля насаждений сосны за 1998-2008 гг. снизилась по площади на 0,7%, а по запасу на 0,4%. Доли прочих и мягколиственных пород остались практически без изменений. Произошло уменьшение доли площади

высокоствольных дубрав на 1,8% и запаса на 3,1%, а доли низкоствольных дубовых насаждений соответственно увеличились как по площади, так и по запасу на 0,7 и 1,2%.

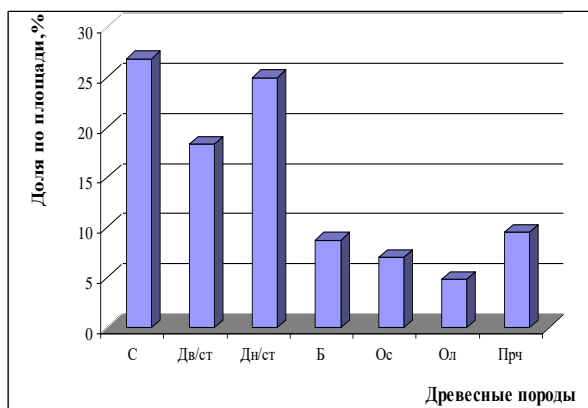
В 2008-2014 гг. в области продолжалось уменьшение доли высокоствольных дубрав (по площади на 4,9%, запасу – на 5,0%) и увеличение дубовых низкоствольных насаждений (по площади на 4,2 % и по запасу – на 4,8%).

В целом для ЦЧ породный состав лесов оценивается как нестабильный с преобладанием негативных тенденций. Так, с 1978 по 2014 г. доли насаждений сосны уменьшились и по площади (на 1,5 %), и по запасу (на 11,1 %). Доли мягколиственных пород (Б, Ос, Ол) остались практически без существенных изменений, менее 1% по площади и 4% по запасу. Что касается дубрав, то здесь ситуация неудовлетворительная как по площади, так и по запасу. С 1998 по 2014 гг. несмотря на растущие объемы лесовосстановительных работ доля высокоствольных дубрав по площади уменьшилась на 7,2 %, а по запасу – 9,7 %. С 1978 г. доля низкоствольных дубрав уменьшилась и по площади (6,9%), и по запасу (5,4%) за счет сплошных и выборочных санитарных рубок.

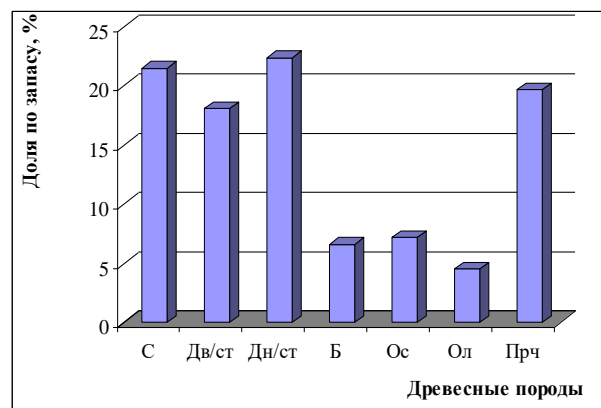
Это позволяет утверждать, что лесное хозяйство региона недостаточно мотивировано и слабо ориентировано на устойчиво-расширенное воспроизводство насаждений дуба черешчатого и, прежде всего, на перевод их из низкоствольной формы хозяйства – в высокоствольную. Следует отдельно заметить, что для этого в лесном фонде лесничеств региона имеются лесопригодные земли во всех субъектах ЦЧ в достаточном количестве.

Насаждения сосны занимают в основном боровые лесорастительные условия, где выращивание дуба как более ценной породы экономически не целесообразно. Прочие породы, в том числе мягколиственные, рассматриваются лесоводами как неотъемлемые спутники главных лесообразующих пород, но их площадь необходимо целенаправленно уменьшать до хозяйственно целесообразной величины. С 2008 г. по 2014 гг. доля березы по занимаемой площади увеличилась незначительно, лишь на 1,0%, ольхи – на 2,6%, осины – на 0,6 %. Произошло увеличение доли прочих пород как по площади (1,9 %), так и по запасу (11,3 %).

Анализируемые данные таблицы 1 для сопоставимости и объективности суждений, а также для наглядности выявленных тенденций соотношения древесных пород в составе лесов для ЦЧ на 1 января 2014 г. отдельно по занимаемой площади и по наличному запасу, представлены в графическом виде на рисунке 3.



а)



б)

Рисунок 3. Соотношение долей основных лесообразующих пород в составе лесов ЦЧ по площади (а) и запасу древесины (б)

6. Заключение

Текущие изменения долей участия лесообразующих пород в формуле состава лесов площади по календарным периодам и породам обусловлены не только естественными процессами роста и развития лесных насаждений, но и еще двумя разнонаправленными факторами, а именно: объемами ввода смыкающихся насаждений соответствующих пород в занятые лесом земли и объемами выбытия площадей спелых и перестойных насаждений в результате проведения в них сплошных или выборочных рубок с высокой интенсивностью, либо их гибели от вредных организмов и лесных пожаров (рисунок 4).



Рисунок 4. Лесные пожары (слева) и очаги вредных организмов (справа) – основные причины негативных тенденций в динамике породного состава лесов ЦЧ

Текущие изменения долей участия лесообразующих пород в составе лесов по запасу предопределены величиной текущего прироста древесины, который всегда меньше в возрастной группе молодняков, за которыми следуют средневозрастные насаждения, и больше в группе приспевающих и спелых насаждений (таблица 1).

Тем не менее, в каждом субъекте ЦЧ имеются неиспользованные резервы для устойчиво-расширенного воспроизводства лесов и дальнейшего улучшения их породного состава, динамика которого служит объективным и достоверным критерием их стабильности и динамичного развития в соответствии с основами

государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов на период до 2030 г. Залогом успеха устойчивого воспроизводства лесов региона являются своевременность и качество проведения лесовосстановительных мероприятий с обязательными рубками ухода в формирующихся молодняках. Накопленный опыт свидетельствует, что без своевременного и качественного проведения осветлений и прочисток, которые по своей сути являются некоммерческими рубками, невозможно вырастить высокопродуктивные защитные леса с преобладанием в их составе хозяйственно ценных древесных пород, успешно и долговременно выполняющих весь спектр прижизненных функций.

Список литературы

1. Лесной фонд СССР (по учету на 1 января 1978 г. в 2-х книгах). -М., 1980, кн. 1. -650 с.; Кн. 2. -630 с.
2. Лесной фонд СССР /Статистический сборник (по учету на 1 января 1988 г. в 2-х томах). М.: Госкомлес СССР, ВНИИЦлесресурс, т. 1, 1990. -1006 с.; т. 2, 1991. -1022 с.
3. Лесной реестр. Статистический сборник. М.: Рослесинфорг, 2014. - 690 с.
4. Лесной реестр. Статистический сборник. М.: Рослесинфорг, 2019. - 695 с.
5. Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 января 1998 г.). Справочник. -М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. - 650 с.
6. Лесной фонд Российской Федерации (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 января 2008 г.). [Электронный ресурс]. Режим доступа - сайт Рослесхоза: <http://www.rosleshoz.gov.ru>
7. Правдин, Л.Ф. Направления и содержание работ по изучению природного разнообразия древесных пород и их значение для лесной селекции/ Л.Ф. Правдин /. –Лесоведение.- 1969.- №5. -С. 3-14.
8. Whittaker, R.H. Evolution and measurement of species diversity // Taxon. 1972. №2. -Р. 213-251.
9. Whittaker, R.H. Communities and ecosystems. - N-Y.: London: Macmillan., 1970. -162 p.
10. Лебедева, Н.В. Биологическое разнообразие/ Н.В. Лебедева, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволуцкий. – Москва: Владос, 2004. – 432 с. – ISBN 5-691-01098-0.
11. Концепция ООН «О сохранения биологического разнообразия», 1972.

References

1. The Forest Fund of the USSR (as of January 1, 1978 in 2 books). -M., 1980, book 1. -650 p.; Book 2. -630 p.
2. Forest Fund of the USSR / Statistical collection (according to accounting as of January 1, 1988 in 2 volumes). Moscow: State Committee of the USSR, Vniitslesresurs, vol. 1, 1990. -1006 p.; vol. 2, 1991. -1022 p.
3. Forest Register. Statistical collection. Moscow: Roslesinforг, 2014. - 690 p.

4. Forest Register. Statistical collection. Moscow: Roslesinform, 2019. - 695 p.
5. The Forest Fund of Russia (according to the data of the state accounting of the forest fund as of January 1, 1998). Directory. -M.: Vniitslesresurs, 1999. -650 p.
6. The Forest Fund of the Russian Federation (according to the data of the state accounting of the forest fund as of January 1, 2008). [Electronic resource]. Access mode - Rosleskhoz website: <http://www.rosleshoz.gov.ru>
7. Pravdin, L.F. Directions and content of works on the study of the natural diversity of tree species and their significance for forest breeding/ L.F. Pravdin /. –Forestry.- 1969.- No.5. -pp. 3-14.
8. Whittaker, R.H. Evolution and measurement of species diversity // Taxon. 1972. No.2. -P. 213-251.
9. Whittaker, R.H. Communities and ecosystems. - N-Y.: London: Macmillan., 1970. -162 p.
10. Lebedeva, N.V. Biological diversity/ N.V. Lebedeva, N.N. Drozdov, D.A. Krivolutsky. – Moscow: Vldos, 2004. – 432 p. – ISBN 5-691-01098-0.
11. The UN Concept "On the Conservation of Biological Diversity", 1972.

Шишкин А.С., Мурзакматов Р.Т.
*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН),
г. Красноярск*

Плантационное лесовыращивание на отвалах

Аннотация. Плантационное разведение на увеличивающихся отвалах перспективно. Проанализированы отвалы, четырех природных зон, созданных по разной технологии и по биотопическому положению. Оценивались породный состав, прирост в высоту и способу создания. Для определения продуктивности проводились эксперименты по высаживанию с/х культур и кедра сибирского. Откапывали корни всех древесных пород. С/х рекультивация не перспективна, а лесовозобновление на различных отвалах идет успешно.

Ключевые слова: плантация лесных пород; горные отвалы; биологическая рекультивация.

Shishikin A. S., Murzakmatov R. T.
*V.N. Sukachev Forest Institute SB RAS (FRC KSC SB RAS),
Krasnoyarsk*

Plantation forest cultivation on dumps

Abstract. Plantation breeding on increasing dumps is promising. The dumps of four natural zones created by different technologies and by biotopic position are analyzed. The breed composition, height gain and method of creation were evaluated. To determine the productivity, experiments were conducted on planting agricultural crops and Siberian cedar. The roots of all tree species were dug out. With \x reclamation is not promising, and reforestation on various dumps is going well.

Keywords: plantation of forest species; mountain dumps; biological reclamation.

ВВЕДЕНИЕ. Увеличиваются площади нарушенных земель, в т.ч. за счет с/х угодий, водоохраных и нерестовых природоохраных земель. По²⁵ действующему законодательству нарушенные земли должны быть возвращены с такой же продуктивностью и назначением прежним владельцам (ФЗ-172 от 01.03.2022 г). Однако, как показали наши исследования это невозможно. При сохранении всех требования горного этапа рекультивации (селектирование горных пород, нивелировка поверхности отвалов, отсыпка плодородного слоя) пахотные земли восстанавливают свою продуктивность через 30-40 лет [3]. Использование отвалов, как показали наши объекты расположенные в лесотепной зоне, под выпас или сенокосение, тоже не дает первоначальных

результатов, но снижают горимость отвалов. Региональные исследования отвалов почвоведными подтвердили наши выводы [1, 2]

Следовательно, необходимо менять действующие требования и технологии использования нарушенных недродобычей земель. Например, перевод земель лесного фонда после аренды и промышленного использования должен осуществляться не после горного этапа рекультивации и пригодности отвалов для лесопосадки, а в результате эффективного биологического восстановления (лесопокрытые или земли с/х назначения, как этого требует Лесной кодекс при переводе земель в лесопокрытые). К сожалению, патентуемые технологии рекультивации принципиально не отличаются от действующих (селектирование горных пород, выравнивание, насыпка плодородного слоя, внесение удобрений, травяная мелиорация), дорогие, требующие использования спецтехники и не достигающие ожидаемого экологического эффекта [7-10,4]. В рекламируемых технологиях отсутствует экономическая оценка, а в современных условиях это главная составляющая затратных проектов. На фоне отсутствия какой-либо рекультивации такой подход оправдан, но он не конструктивен по отношению к самим нарушенным территориям и окружающему ландшафту. При дефиците пахотных земель и жестком действии природоохранных органов возможно использование сложных и дорогих технологий, но почвенная структура формируется педобионтами, а они мало зависят от технологии.

По климатическим условиям и вложениям, плантационное лесоразведение одно из перспективных направлений использования отвалов в лесостепной, южно- и среднетаежной зонах [3,6]. В тундре плантационное лесовыращивание ограничено и требует больших затрат. В этих условиях при сильном ветре и не большом количестве твердых осадков биологическая рекультивация выпуклых поверхностей сводится только к ограничению пыления отвалов [5].

Цель данного сообщения – привлечь внимание к горным отвалам, которые требуют изменения подхода к их оценке и использованию.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. Проанализированы четыре типа отвалов, находящихся в четырех природных зонах (лесотундра, южная и средняя тайга, лесостепь), по разной технологии добычи недр (карьерная, дражная, гидромеханическая, мускульная) и по биотопическому положению (поймы и русла рек, водоразделы). Оценивалось лесовозобновление по породному составу, прирост в высоту, сравнении с окружающими не нарушенным насаждениям, способу создания (естественное, лесные культуры), плодоношению, появлению подроста. На отвалах разного возраста угольного разреза в лесостепи (Бородинский бурогольный разрез) для определения реальной продуктивности проводились эксперименты по высаживанию с/х культур (картофель, морковь, свекла, огурцы, крест-салат). Для восстановления структуры в почвогрунты этих же отвалов вносили древесные опилки, золу, высевали сидераты (бобовые и злаковые травосмеси). Проводили экспериментальные посадки кедра саженцами из Абазинского лесопитомника. Откапывали корни всех древесных пород, что позволяло определить тип водного и минерального питания, а также будущую структуру насаждений и технологию

ухода за древостоями отвалов. Проводили посев семян сосны обыкновенной и лиственницы сибирской. При смешанном (сосново-осиновом) естественном возобновлении проводили рубки ухода за составом, вырубая лиственные породы.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В настоящее время биологическая рекультивация предполагает два варианта: лесная и сельскохозяйственная (пахотная или пастбищная). Вторая для Сибири не актуальна, хотя и соответствует требованиям возврата земель для прежнего использования. Пахотная продуктивность (по нашим данным экспериментальной посадки на отвалах Бородинского бурогоугольного разреза картофеля и других овощей) восстанавливается более чем через 30 лет после перевода и соответствующей горной рекультивации (бульдозерное выравнивание, нанесения плодородного слоя почвы - ПСП). Более того, сельское хозяйство в Сибири традиционно развивалось в подтаежной (лесотепной) зоне и продолжает быть в упадке, где нет дефицита в пахотных землях и поля зарастают лесом. Кроме того, травяная рекультивация без пастбищной нагрузки провоцирует накопление горючей ветоши и горимость отвалов, при этом фитоопад плохо участвует в почвообразовании (структура почво-грунтов не меняется, оставаясь плотной и призматической), а отсыпка ПСП передержанного в отвалах не дает ожидаемого эффекта формирования почвенных горизонтов (возвращение плодородия), поскольку педобионты погибают уже в буртах во время «хранения».

Лесная рекультивация более перспективна, поскольку не требует ежегодного ухода, а деревья реально накапливают и удерживают углерод [3]. При этом следует учитывать некоторые негативные явления последствий поспешного лесовозобновления. Наблюдается «распыхивание» верхнего слоя горной породы отвалов бурогоугольных разрезов (вскрыши и вмещающей), оказавшейся на дневной поверхности. В результате корневая шейка высаженных древесных пород (механическая посадка в борозды) оказывается погребенной на глубину 10-15 см. Поэтому саженцы древесных пород (как показали наши эксперименты с заглублением арматуры на 1 м) не желательно садить на свежих отвалах и возможна только после подготовки грунтов к лесной рекультивации т.е. их усадки (через 2-5 лет, как и рекомендовано действующей инструкцией по рекультивации). При гидромеханической добыче золота наблюдается обратный эффект. При достижении возраста 25-30 лет сосна на песчано-галечных отвалах вываливается, поскольку грунт на отвалах рыхлый и не удерживает массу ствола и кроны в вертикальном положении (р. Б. Мурожная), а подрост выжимается и корневая система приобретает форму «стула». Выравнивание гидромеханических отвалов (якобы для успешного лесовозобновления) приводит к снижению прироста на 70%, относительно не выровненных участков (р. Панимба). Провальное влагообеспеченность древесных растений на отвалах приводит к поверхностному расположению сосущих корней и низкой сомкнутости крон, что позволяет сделать вывод о необходимости разреживания лесных культур после их смыкания в бороздах. Поэтому скорость формирования водоупорного слоя на отвалах, важная задача лесовозобновления, которая

определяет не только сомкнутость крон, но породный состав и технологию посадки древесных пород.

ОБСУЖДЕНИЕ. Действует природоохранный закон (ФЗ-172 от 01.03.2022 г) требующий быстрого возврата нарушенных земель в исходное состояние. При этом не учитывается региональная потребность в продуктивности и направленности использования техногенных земель и значимость после нарушений в результате добычи и транспортировки полезных ископаемых. Разрекламированные травяные маты, которые дают эффект для быстрого возвращения земель и передачи их прежним владельцам, впечатляет, но положительный эффект в таежной и тундровой зонах не превышает двух лет. Фитомасса трав сосредоточена в надземной части, поскольку корни упираются в мерзлоту. Соответственно почвообразования не происходит, да в условия вечной мерзлоты почвы и нет, только торф. Затраты на рекультивацию (возврат в исходное состояние) не возможен, вреден для ландшафтной структуры, поскольку лишает ее дефицитных биотопов (водоемов) и сукцессионного разнообразия. Предлагаемая «травяная» рекультивации (выравнивание, обработка, посев, травяные маты), затратные и не перспективны для таежной зоны и лесного фонда с распространением мерзлых грунтах. Мелиорация отвалов завезенными семенами или растениями провоцируется занос инвазийных видов. Сбор зачатков местных видов трав не реален и предполагает использование ручного труда, а это не реально. При этом правильное выполнение этапа горной рекультивации дает возможность аборигенным видам осваивать свободную территорию естественным путем с учетом сукцессионных закономерностей. Естественно, такой процесс идет медленно, но он имеет долговременный эффект и соответствует фитоценозам окружающей территории.

В условиях мерзлоты плантационное выращивание долгоживущих растений (деревьев) исключается. Оно возможно только в условиях понижения уровня мерзлоты на дренированных склонах (местные семена, постоянное дренирование) [5]. Понижению мерзлоты способствуют пожары и фрезерование с перемешиванием верхнего горизонта на глубину до 30 см., но эти мероприятия имеют временный эффект. Мерзлота поднимается и вновь обуславливает тип растительности (мохово-лишайниковый) характерный для климатической зоны. Постоянное промышленное угнетение агрессивными выбросами приводит к смене растительности и формированию техногенной (злаки). Эта растительность может трактоваться как плантационная, обладающая большей экологической емкостью, но она недоступна для позвоночных животных, поскольку они попадают под прямое воздействие выбросов [5].

Естественное биологическое восстановление нарушенных земель в таежной зоне проходит наиболее успешно. Происходит замена аборигенных елово-кустарниковых зарослей пойм, на загущенную сосново-березовую формацию отвалов (рр. Панимба, Кузеева). Наиболее продуктивные молодняки формируются на гидромеханических отвалах, но выравнивание их (бульдозерное сглаживание), как того требует действующая инструкция, приводит к формированию разреженных насаждений с низкой продуктивностью (V бонитет). Рубки ухода (осветление) за загущенными насаждениями резко

увеличивают прирост сосны (в 3-5 раз) и способствуют формированию высокопродуктивных по приросту сосняков (плантационных). Применение разработанных ранее рекомендации по выполаживанию отвалов обуславливают в начале плоскостную, а затем и овражную эрозии, что исключает лесовозобновление. Следует учитывать, что в природе нет ровных поверхностей (только на пашнях ровно, но где наблюдается смыв гумусового горизонта при таянии снега). Лесной микрорельеф хорошо развит (корневые вывалы, упавшие стволы, напочвенный покров), задерживает поверхностный сток и переводит его в грунтовый. Подпологовый посев семян сосны и лиственницы не дал положительных результатов. Однако, (на одинаковом агрофоне) всходы и последующий подрост лиственницы сибирской не уступают сосне, но гарантированное лесовозобновление возможно только при создании лесных культур. В лесостепной зоне л/культура сосны и ели начинают (первые 12 лет) расти по первому бонитету их прирост зависит от жидких осадков. Годичный прирост ели достигает 40 см. а сосны – 60 см. При варианте временного использования отвалов (добыча золота) можно использовать их для выращивания новогодних елей. Сложно прогнозировать дальнейшее развитие л/культур этих пород, но если стоит задача создания плантационных насаждений требуется уход (разреживание) за ними.

Очевидно, посттехногенные территории должны зонироваться по приоритетности использования (сельско- и лесохозяйственной, рыбозаповедной, рекреационной и пр.) [3]. К сожалению, отвалы отработанных месторождений, несмотря на их доступность, финансовую и техническую обеспеченность оказываются невостребованными.

Нами разработана технология горной рекультивации, применимая для большинства техногенных поверхностей (патент №2615533), которая обеспечивает формирование почвогрунтового разнообразия, а следовательно и условий для роста ксеро-и гидрофитной растительности. Кроме того, западины поверхности отвалов препятствует плоскостной эрозии, переводя тающие твердые и выпадающие жидкие осадки в грунтовый сток [5, 6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Необходимо разработать отраслевые и природно-зональные критерии оценки и нормативы экологического, экономического и социального назначения посттехногенных территорий, определить приоритетность их использования. Обосновано организовать и вести мониторинг, что позволит разработать региональные нормативы и предъявлять обоснованные претензии недропользователям, оптимизировать их расходы на рекультивацию. Следует вернуться к практике рецензирования проектов восстановления научными организациями, владеющими тематикой горной и биологической рекультивации.

Список литературы

1. Андроханов В. А., Госсен И. Н., Уфимцев В. Н. Итоги рекультивации на Назаровском угольном разрезе // Материала XI всероссийской науч. конференции с межд. участием. Свердловск-Сатка. 2022. С. 16–19.

2. Избранные труды лаборатории рекультивации почв / под ред. В. А. Андроханова Новосибирск: изд-во Окарина, 2016.- 286 с.
3. Мурзакматов Р. Т., Шишкин А. С., Борисов А. Н. Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне // Сибирский лесной журнал. 2018, №1. С. 37–48
4. Тихменев П.Е., Тихменев П.Е., Вильк А.С. Патент на изобретение № 2711926 от 23.01.2020 г. Способ рекультивации земель, нарушенных при освоении рудных месторождений полезных ископаемых.
5. Шишкин А. С., Мурзакматов Р. Т., Ефимов Д. Ю. Мелкобугристая и западинная рекультивация // Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для угледобывающего сектора. Кемерово, Новокузнецк: ИнЭКА, 2015. С. 175–178.
6. Шишкин А. С. Карбоновые полигоны и лесная рекультивация // Материалы XI всероссийской науч. конференции с межд. участием. Свердловск-Сатка. 2022. С. 236–239.
7. Noviks G. Upcycling of Technogenic Mineral Waste – Challenges and Solutions // Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. Volume 1. 2012. P.183-190.
8. Kostadinov L., Micevska O., Krstev B., Golomeov B., Golomeova M. Modern methods for recultivation of tailing dumps // Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 12 – 16, 2013. P. 1049-1051.
9. Pae T., Luud A., Sepp M. Artificial mountains in north-east estonia: monumental dumps of ash and semi-coke // Oil Shale, Vol. 22, No. 3. 2005. P. 333-343.
10. Furmanova T. N. Petina M. A. The Problem of Rekultivation of Disturbed Lands: Russian and Foreign Experience // Scientific reports on resource issues / ed. by C. Drebenstedt; Intern. University of Resources. - Freiberg, 2013. Vol.1. P. 253-259.

References

1. Androkhanov V. A., Gossen I. N., Ufimtsev V. N. Results of recultivation at the Nazarovsky coal mine // Materials XI of the All-Russian Scientific. conferences with international participation. Sverdlovsk-Satka. 2022. pp. 16-19.
2. Selected works of the Laboratory of soil reclamation / edited by V. A. Androkhanov Novosibirsk: Okarina Publishing House, 2016. - 286 p.
3. Murzakmatov R. T., Shishikin A. S., Borisov A. N. Features of the formation of plantings on the dumps of coal mines in the forest-steppe zone // Siberian Forest Journal. 2018, No. 1. pp. 37-48.
4. Tikhmenev P.E., Tikhmenev P.E., Vilk A.S. Patent for invention No. 2711926 dated 23.01.2020. Method of recultivation of lands disturbed during the development of ore deposits of minerals.
5. Shishikin A. S., Murzakmatov R. T., Efimov D. Yu. Fine-grained and zapadinnaya recultivation. // Collection of innovative solutions for biodiversity conservation for the coal mining sector. Кемерово, Novokuznetsk: InEkA, 2015. pp. 175-178.

6. Shishikin A. S. Carbon polygons and forest reclamation // Materials of the XI All-Russian Scientific. conferences with interns. participation. Sverdlovsk-Satka. 2022. pp. 236-239.
7. Noviks G. Upcycling of Technogenic Mineral Waste – Challenges and Solutions // Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. Volume 1. 2012. P.183-190.
8. Kostadinov L., Micevska O., Krstev B., Golomeov B., Golomeova M. Modern methods for recultivation of tailing dumps // Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 12 – 16, 2013. P. 1049-1051.
9. Pae T., Luud A., Sepp M. Artificial mountains in north-east estonia: monumental dumps of ash and semi-coke // Oil Shale, 2005.Vol. 22, No. 3. P. 333-343.
10. Furmanova T. N. Petina M. A. The Problem of Rekultivation of Disturbed Lands: Russian and Foreign Experience // Scientific reports on resource issues / ed. by C. Drebenstedt; Intern. University of Resources. - Freiberg, 2013. Vol.1. P. 253-259.

СЕКЦИЯ 2. УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ. ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ В УПРАВЛЕНИИ ЛЕСАМИ И ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИИ

DOI: 10.58168/Forestry2023_243-249

УДК 338.22(930.23)

Азарова Н. А., Филиппова А. В.

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж

Инновационные проекты экогородов как способ преодоления системного экологического кризиса

Аннотация. В данной статье рассматривается инновационный подход к преодолению системного экологического кризиса, путем реализации проектов по созданию экогородов. На примере Байкальска изучается возможность создания экополисов в России. Авторами приводится в пример успешный зарубежный опыт, обращается внимание на комплексную стратегию внедрения экоинноваций в городах на пути к созданию безопасного экологического пространства. Выделено, что развитие подобных проектов является важным шагом к созданию безопасного экологического пространства. Обращается внимание на значимость комплексного подхода в решении экологических проблем при переходе на устойчивый тип развития общества. Исследовано, что на территории Байкальска создаются многоотраслевые инновационные научные комплексы, разрабатывающие технологии по превращению города в экологичный технополис. Выявлено, что инновационные проекты экогородов, как и традиционные инновации, основываются на экономической рациональности в отношении максимизации стоимости за счет использования ресурсов. Авторами выделены основные принципы функционирования таких городов, и их критерии функционирования. Сделаны выводы о необходимости институциональных действий, чтобы дать импульс экоинновациям.

Ключевые слова. инновации, экогород, комплексная стратегия, устойчивое развитие, экологический кризис.

Azarova N. A., Filippova A.V.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Innovative projects of eco-cities as a way to overcome the systemic ecological crisis

Abstract. This article discusses an innovative approach to overcoming the systemic environmental crisis by implementing projects to create eco-cities. Using the

example of Baikalsk, the possibility of creating ecopolises in Russia is being studied. Successful foreign experience is given as an example, attention is drawn to a comprehensive strategy for implementing eco-innovations in cities on the way to creating a safe ecological space. The development of such projects is an important step towards creating a safe ecological space. Attention is drawn to the importance of an integrated approach in solving environmental problems during the transition to a sustainable type of development of society. Diversified innovative scientific complexes are being created on the territory of Baikalsk, developing technologies to transform the city into an eco-friendly technopolis. Innovative eco-city projects, like traditional innovations, are based on economic rationality in terms of maximizing value through the use of resources. The basic principles of functioning of such cities and their criteria of functioning are highlighted. Institutional actions are needed to give impetus to eco-innovations.

Key words: innovation, eco-city, comprehensive strategy, sustainable development, environmental crisis

Введение. На протяжении веков, люди внедряли в свою жизнь все усложнявшиеся нововведения. Технологии сменяли друг друга, совершенствовались. Инновационный процесс поставил мир на новую ступень экономического развития, стал основной движущей силой научно-технического прогресса. Но только недавно люди стали задумываться о его экологической составляющей.

Экологическое пространство, являющееся платформой жизнедеятельности людей, стало грозным оружием против человечества. Встал вопрос о возможности продолжения жизни на нашей планете. В условиях глобального экологического кризиса, технологический процесс, в любой сфере деятельности, невозможен без приставки «эко». Экоинновации являются относительно новой концепцией, но это единственно возможный выход из сложившейся ситуации. Они должны стать главной движущей силой новой модели устойчивого экономического и социального развития общества [1]. Экологические инновации необходимо внедрять, применяя комплексную стратегию, это даст огромный потенциал для создания экологически чистого пространства [2,10].

Примером такого комплексного подхода, могут быть проекты по созданию экогородов. Сама идея не является новшеством, многие ученые долгое время разрабатывали это направление. Стремительно надвигающийся экологический кризис привел к необходимости воплощать эту идею в жизнь. Города являются источником развития цивилизации, но одновременно они стали одними из главных виновников деградации экопространства [3].

Современный экогород должен наносить минимальное влияние окружающей среде, снабжать себя всеми необходимыми ресурсами, обеспечивая высокий уровень жизни населения, при этом находясь в гармонии с природой. Уже сейчас в мире реализуется в полной или частичной мере около 20 подобных проектов. Одним из первых успешных проектов стал город Мальме в Швеции. В 90-е годы XX века это была загрязненная промышленная зона. Через

10 лет он превратился в самый экологичный район Швеции, созданный в соответствии со стратегией устойчивого развития. Необычный план в скором времени начнут реализовывать в южном районе Стокгольма. Это крупнейший в мире деревянный город «Стокгольм-Сити». Это будет самый масштабный в мире инновационный градостроительный проект из дерева. Посреди пустынь в ОАЭ, неподалеку от Абу-Даби расположился уникальный городок Масдар-Сити. Китай также имеет свой «зеленый островок», это город Донгтан, а также Эко-сити Тяньцзинь. Успешно реализуется проект экогородка Нуе в Дании, Пафос на Кипре, Дублин в Ирландии и другие [4,8].

Основные принципы функционирования таких городов, основаны на следующих критериях:

- ✓ Экологическое строительство и энергосбережение.
- ✓ Внедрение экологичных источников энергии.
- ✓ Развитие экотранспорта.
- ✓ Безотходное производство путем вторичной переработки.
- ✓ Экономия и очистка воды.
- ✓ Экологическая инфраструктура.
- ✓ Интенсивное сельское хозяйство в черте города или вблизи его [5].

Результаты. Главной задачей, при строительстве экогородов, является гармоничное включение его в ход естественных природных процессов, обеспечение при этом высокого уровня жизни его населения. Реализованных проектов в России пока нет. Экологизация по отдельным направлениям, не соответствует мировым стандартам экологического строительства. Но, в настоящее время, первым экогородом может стать Байкальск в Иркутской области. Байкал, поистине, жемчужина России, но варварское отношение к нему, привело к настоящему кризису.

После закрытия Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, городок терпит экологическое и экономическое бедствие. Критический уровень отходов, оставленных в накопителях, грозит экологической катастрофой, при попадании в воды Байкала [6]. Устаревшая Байкальская ТЭЦ работает на пределе возможностей. Аварийное жилье, износ трубопроводов и множество других проблем, грозят уничтожить город и нанести огромный удар экосистеме Сибири. В настоящее время, Правительством РФ и Правительством Иркутской области сформирован стратегический комплексный мастер-план по преобразованию Байкальска в эко-город до 2040 года [7].

Это глобальный документ охватывает все сферы жизнедеятельности, делая упор на экологию. План развития территории будет иметь грандиозный масштаб.

Обсуждение. Реализация мероприятия будет проходить комплексно, по всем приоритетным направлениям, соответствующим критериям устойчивого развития, необходимы институциональные действия, чтобы дать импульс экоинновациям, в том числе:

- ✓ Ликвидация накопленных отходов БЦБК, этим уже занимается Госкорпорация «Росатом», используя новейшие технологии по очищению накопителей карт шлам-лигнина, вторичная переработка отходов с

преобразованием их в полезные материалы, а также электро-или тепловую энергию.

- ✓ Реконструкция жилого фонда. Аварийное жилье будет полностью ликвидировано и реализованы проекты малоэтажной деревянной застройки. Будут использованы лучшие программы деревянного домостроения. В Байкальске появятся мало- и среднеэтажные дома из CLT-панелей. Производство этого материала из дерева, является полностью экологичным и инновационным для России. Он обладает высокой сейсмоустойчивостью, пожарной безопасностью, большой прочностью и теплоэффективностью. В будущем, это станет новым трендом домостроения по всей стране, с учетом площадей российских лесов, способствует развитию индустрии по глубокой переработке древесины.
- ✓ Реконструкция инженерных систем и системы теплоснабжения. Преимущественное использование возобновляемых источников энергии (солнечная и геотермальная энергия, энергия ветра и воды, биоэнергия).
- ✓ Модернизация водоснабжения и водоотведения, уменьшение потребления воды, строительство ливневой канализации.
- ✓ Использование экологического транспорта, который включает в себя электрический, биотопливный, водородный, водный. Введение в эксплуатацию новых средств передвижения. Полностью автоматизированный железнодорожный и городской пассажирский транспорт, экологически безопасные автомобили, обеспечат минимальный уровень выбросов в атмосферу. Работа водного транспорта будет создаваться практически с нуля. Использование новейших магнетогидродинамических двигателей, внедрение парусов из твердого материала, широкое применение судов на воздушной подушке, позволит создавать новые сверхскоростные корабли, с управляемыми компьютером приборами навигации [8].
- ✓ Введение трехуровневой транспортно-пешеходной сети. Шаговая доступность объектов инфраструктуры города, позволит активно использовать безмоторный транспорт.
- ✓ Естественный лесной массив должен составлять каркас нового города, в который гармонично включены обширные зоны искусственного озеленения технополиса. Снижение рекреационной нагрузки, произойдет за счет строительства экотроп и веломаршрутов по направлению к зонам отдыха и местам достопримечательностей.
- ✓ Расположение сельскохозяйственных зон в черте города (вертикальные с/х постройки) или вблизи его. Реабилитация деградированных земель.
- ✓ Огромное количество уникальных природных территорий, способствует развитию туризма. В планы входит создание горнолыжного курорта, оздоровительных и спортивных центров, строительство городского порта, дайвинг центра, канатной дороги и многое другое.
- ✓ Создание высокотехнологичного Международного центра водных ресурсов. Он должен стать центром притяжения «зеленых» инноваций, базой для современных научных исследований в изучении экосистем, экологического мониторинга. Будет работать лаборатория гидрохимического анализа воды и

исследований содержания микропластика. На его платформе откроется завод по производству бутилированной воды, что будет являться полностью экологичным проектом и заменой БЦБК в экономическом плане.

- ✓ Масштабный проект «Эко.цех» представляет собой научно – исследовательскую, ресурсную и образовательную площадку для молодежи, воспитывает будущих лидеров экологического движения, способствует развитию инфраструктуры города, эковолонтерству, продвижению лучших экологических практик и многому другому.
- ✓ Современные цифровые технологии, превратят Байкальск в «умный город». Концепция «умного города» затрагивает все сферы жизнедеятельности населения. Системы мониторинга позволят всесторонне контролировать параметры состояния окружающей среды, эффективность расходования ресурсов, инновационное сельское хозяйство, утилизацию отходов, управление транспортной сетью, комфортность проживания и многое другое. Байкальск должен стать моделью для дальнейшей цифровой трансформации городов.

Заключение. Таким образом, данный проект для России является пилотным. Но успешный зарубежный опыт, доказывает возможность его реализации [9]. Российские ученые долгое время разрабатывают новейшие инновационные технологии, настало время ускорить внедрение их в жизнь, главное обеспечить комплексный подход, при активной поддержке государственных структур, только тогда системный экологический кризис может быть преодолён.

Состояние экологического пространства не позволяет решать проблемы точечными мерами, например, необходимы институциональные действия (например, экологическое регулирование и требования заинтересованных сторон), чтобы дать импульс экоинновациям. Реализация данной программы является приоритетной задачей общегосударственного и мирового значения. Большинство инициатив выглядят действительно осуществимыми, но многие стоят под вопросом. Экоинновации, как и традиционные инновации, также должны основываться на экономической рациональности в отношении максимизации стоимости за счет использования ресурсов. Комплексный стратегический план по Байкальску, может стать примером для создания экомегалополисов, путем постепенного внедрения в крупные города экологически чистых технологии в отдельные районы [10]. Это совершенно новый тип городской структуры, стимулирующий развитие новых проектов городского развития, которые направлены на продвижение экоинноваций, здоровый способ жизни и устойчивое развитие.

Список литературы

1. Гарбузова, Т.Г. Устойчивое управление лесами как действенный инструмент сохранения лесного биоразнообразия / Т. Г. Гарбузова // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : Материалы третьей международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 23–24 мая 2018 года / Под редакцией В.М. Гедьо. Том 2. – Санкт-Петербург:

- Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2018. – С. 270-273.
2. Гарбузова, Т. Г. Экологический маркетинг как эффективный инструмент устойчивого развития общества / Т. Г. Гарбузова // Природоресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России : Сборник статей XXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 23–24 января 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 39-42.
 3. Жмыхова, А. С. Формирование инновационного кластера в Байкальском регионе: Технополис в Байкальске / А.С. Жмыхова, И.Е. Дружинина, М.Я. Поспелова // Качество городской среды: строительство, архитектура и дизайн: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - 2017. – С. 152–157.
 4. Кулешова, Г.И. Технополисы в системе территориально-пространственной организации научно-инновационной деятельности / Г.И. Кулешова // Теория градостроительства. – 2015. - №3(37). – С.20 – 35.
 5. Пация, С.А. Технологии на защите экологии / С.А. Пация // Национальная ассоциация ученых (НАУ). -2020. - № 55. - С.53-36.
 6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.12.2022 № 4344-р.
 7. Безрукова, Т. Л. Обеспечение сбалансированного развития инновационной и инвестиционной деятельности экономических систем: механизм, модели, прогнозы / Т. Л. Безрукова, Н. Р. Какоу. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – 141 с.
 8. Шешнищан, С. С. Потенциал и приоритеты реализации лесных климатических проектов в Российской Федерации / С. С. Шешнищан, С. С. Морковина // Лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы: вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата: Материалы Международного лесного форума, Воронеж, 29–30 сентября 2022 года / Отв. редактор Н.В. Яковенко. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 128–132. – DOI 10.58168/IFF2022_128–132.
 9. Юрзинова, И.Л. Эко-города: современное состояние и перспективы / И.Л. Юрзинова // Экономика и управление. – 2014. - №6. – С. 71-73.
 10. Яковенко, Н. В. Модель устойчивого развития и социально-экономический мониторинг города / Н. В. Яковенко // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 3. – С. 118-126.
 11. Kuksova, I. V. Determination of conditions significant for the development of the innovative potential of the enterprise // Competitiveness. Innovation. Finance - 2011.- № 2 (6) - P. 89 – 93.
 12. Yakovenko, N. V. Socio-Ecological Well-Being of the Population (the Regions of the Central Federal District are Example) / N. V. Yakovenko, O. V. Didenko, I. V. Safonova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Russky Island, 04–06 марта 2019 года. Vol. 272, 3. – Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 032035. – DOI 10.1088/1755-1315/272/3/032035.

References

1. Garbuzova, T. G. Ways to increase the efficiency of the use of working capital of a woodworking enterprise / T. G. Garbuzova, A. A. Smirnova // Experience and problems of management system reform in a modern enterprise: Tactics and strategy : Collection of articles of the XXI International Scientific and Practical Conference, Penza, February 24-25, 2022 / Edited by F.E. Udalov, V.V. Bondarenko. – Penza: Penza State Agrarian University, 2022.
2. Garbuzova, T. G. Ecological marketing as an effective tool for sustainable development of society / T. G. Garbuzova // Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian regions : Collection of articles of the XXI International Scientific and Practical Conference, Penza, January 23-24, 2023. – Penza: Penza State Agrarian University, 2023. – pp. 39-42.
3. Zhmyhova, A. S. Formation of an innovation cluster in the Baikal region: Technopolis in Baikalsk / A.S. Zhmyhova, I.E. Druzhinina, M.Ya. Pospelova //The quality of the urban environment: construction, architecture and design: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. - 2017. – pp. 152-157.
4. Kuleshova, G.I. Technopolises in the system of territorial and spatial organization of scientific and innovative activity / G.I. Kuleshova // Theory of urban planning. – 2015. - №3(37). – Pp.20 – 35.
5. Patsia, S.A. Technologies for the protection of ecology / S.A. Patsia // National Association of Scientists (NAU). -2020. - No. 55. - pp.53-36.
6. Order of the Government of the Russian Federation dated 12/29/2022 No. 4344-R.
7. Bezrukova, T. L. Ensuring balanced development of innovation and investment activities Economic systems: mechanism, models, forecasts / T. L. Bezrukova, N. R. Kakou. – Voronezh, 2021. – 141 p.
8. Yurzinova, I.L. Eco-cities: current state and prospects / I.L. Yurzinova // Economics and management. - 2014. - No. 6. – pp. 71-73.\
9. Yakovenko, N.V. Model of sustainable development and socio-economic monitoring of the city / N. V. Yakovenko // Problems of regional ecology. - 2010. – No. 3. – pp. 118-126.
10. Kuksova, I. V. Determination of conditions significant for the development of the innovative potential of the enterprise // Competitiveness. Innovation. Finance - 2011.- № 2 (6) - P. 89 – 93.
11. Sheshnitsan, S. S. Potential and priorities for the implementation of forest climate projects in the Russian Federation / S. S. Sheshnitsan, S. S. Morkovina // Forest ecosystems as a global biosphere resource: challenges, threats, solutions in the context of climate change: Proceedings of the International Forest Forum, Voronezh, September 29-30, 2022 / Editor N.V. Yakovenko. – Voronezh, 2022. – pp. 128-132. – DOI 10.58168/IFF2022_128–132.
12. Yakovenko, N. V. Socio-Ecological Well-Being of the Population (the Regions of the Central Federal District are Example) / N. V. Yakovenko, O. V. Didenko, I. V. Safonova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Russky Island, 04–06 марта 2019 года. Vol. 272, 3. – Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 032035. – DOI 10.1088/1755-1315/272/3/032035.

Гайденок Н.Д., Чумаков В.Ф., Чумаков И.В.

*Сибирский государственный университет науки
и технологий им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск*

**Анализ пандемии Коронавируса-19 на основе эволюционных принципов
нелинейной физики и его влияние на кадровые ресурсы химико-лесного
комплекса**

Аннотация. В работе рассмотрены особенности динамики пандемии Коронавируса – 19 в организационный период становления ее мониторинга когда идет формирования и самих методов и последовательности их применения, как нелинейные явления исследуемых в рамках теории катастроф и накопление статистики с повышающейся во времени адекватностью. Поэтому на данном этапе наиболее целесообразно при моделировании пандемии применять эволюционные принципы, построенные на законах сохранения вещества, энергии и информации, которые наблюдаются в различных областях знаний – океанологическое Цунами и формальный образ актуального для настоящего времени влияния на все стороны функционирования химико – лесного комплекса пандемии Коронавируса – 19 получившая в СМИ наименование Инфекционное Цунами. Показано соответствие, полученной реализации модели реальным данным, так и потенциалов, определяющих особенности уравнений динамики пандемии, вытекающих из эволюционных принципов катастрофе складки. Причем, вариант скачкового роста заболеваний показан еще до появления штамма Омикрон на основе анализа физических экспериментов

Ключевые слова: неустойчивость, нелинейные явления, катастрофа складки, катастрофа сборки, бегущая волна, пандемия ковид – 19

Haydenok N.D., Chumakov V.F., Chumakov I.V.

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk*

**Analysis of the COVID-19 pandemic based on the evolutionary principles
of nonlinear physics and its impact on human resources of the chemico-timber
complex**

Abstract. The paper considers the features of the dynamics of the COVID-19 pandemic during the organizational period of the formation of its monitoring, when the

methods themselves are being formed and the sequence of their application, as nonlinear phenomena studied in the framework of the theory of catastrophes and the accumulation of statistics with increasing adequacy over time. Therefore, at this stage, it is most expedient to apply evolutionary principles in modeling the pandemic, based on the laws of conservation of matter, energy, and information, which are observed in various fields of knowledge - oceanological tsunamis and the formal image of the current impact on all aspects of the functioning of the chemical-forest complex of COVID-19 pandemic, which has been called Infectious Tsunami in the media. It is shown that the obtained implementation of the model corresponds to the real data, and the potentials that determine the features of the equations of the dynamics of the pandemic, arising from the evolutionary principles of the fold catastrophe. Moreover, the variant of the jump growth of diseases was shown even before the appearance of the Omicron strain based on the analysis of physical experiments.

Keywords: instability, nonlinear phenomena, fold catastrophe, assembly catastrophe, traveling wave, COVID-19 pandemic

Введение и постановка проблемы

Изучение проблемы нелинейных физических явлений на на кадровые ресурсы химико – лесного комплекса пандемии Коронавируса – 19, обусловленное вопросами мировой и российской логистики, наиболее оптимальным образом начать не с ее формализма – что впереди -, а с анонса классической фразы известного физика Ф. Р. Фейнмана – «Одинаковые уравнения — одинаковые решения», которую он раскрывает в монографии [6].

Не приводя всех аспектов объяснения, кратко ограничимся лишь следующим – если явления действительности описываются одними и теми же математическими конструкциями, то они имеют близкую природу.

Для иллюстрации последнего заключения, из обширного списка явлений природной неустойчивости, имеющих нелинейную природу, в химико – лесном комплексе под формальный образ теории катастроф и ее объекта исследований - катастрофы сборки [3Постон] рассмотрим следующие феномены – Океанологическое и Инфекционное Цунами, имеющие природу бегущей волны.

Материалы и методы

В качестве экспериментальной базы используется данные по динамике пандемии Коронавируса – 19 содержащиеся в интернете [10, 11]. К числу методов относятся результаты исследований по судовым движителям, гидромеханике, теории катастроф.

Результаты исследования

Реальной природной реализацией бегущих волн являются следующие, к сожалению, всемирно печально известные волны – океанологические Цунами, которые широко известны даже на бытовом уровне – вспомним Цунами 2004 в Индийском океане Рисунок 1 – и интернет содержит множество их иллюстраций в свободном доступе, правда в основной массе гротесковых [8].

Цунами происходили и протяжении геологической истории и местности весьма далекой от океана. Сему примером может служить геологический прообраз современных Цунами, известный только в узких кругах сибирских

геологов и ихтиологов - Сибирское Мегацунами высотой до 100 м отмеченное на Ангаре и далее после впадения ее в Енисей в период 11800 – 13400 лет назад - [1Гайд, 2020; 7 Arz, 2018]. На Рисунок 2 показана полученная автором работы современная натурная – в отличии от большинства гротесковых иллюстраций Цунами помещенных в интернете [8] - «Енисейская реализация» Сибирского Мегацунами в виде сброса воды в масштабе $\sim 2.51 \cdot 10^{-5} \%$ образа, где высота плотины ГЭС 100 м и работает не более половины водосбросов.

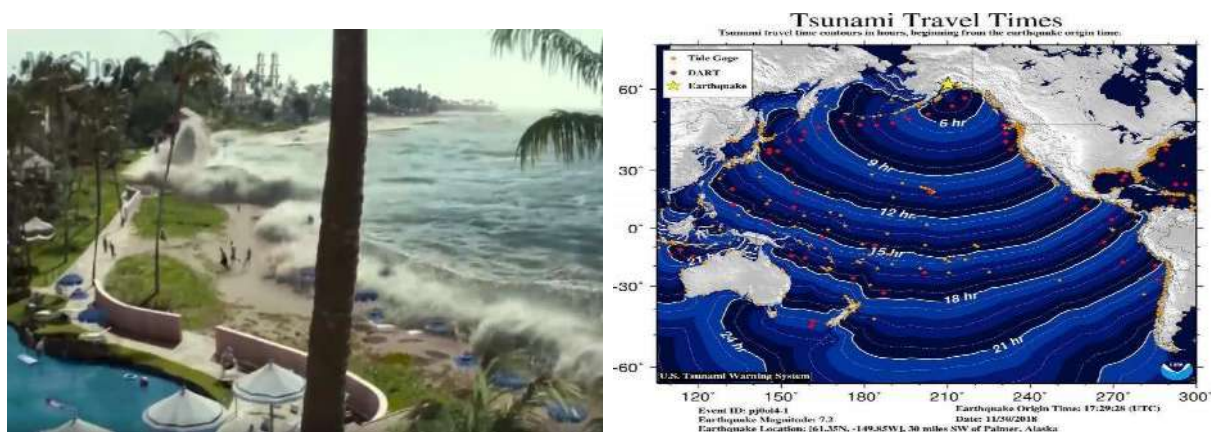


Рисунок 1. Цунами 2004 в Индийском океане [9, 12]



Рисунок 2. Современная «Енисейская реализация» (профиль и план) во время сброса воды через плотину Красноярской ГЭС [1]

Ко второму типу природной реализации бегущих волн можно с полной уверенностью отнести, также к сожалению, всемирно, но уже не печально, а трагически известные в последние 2 года 5 волн пандемии Коронавируса – 19, которые в СМИ называются, как Инфекционное Цунами. Его экспериментальная иллюстрация, заимствованная в свободном доступе интернет из [11, 10], показана на Рисунок 3.

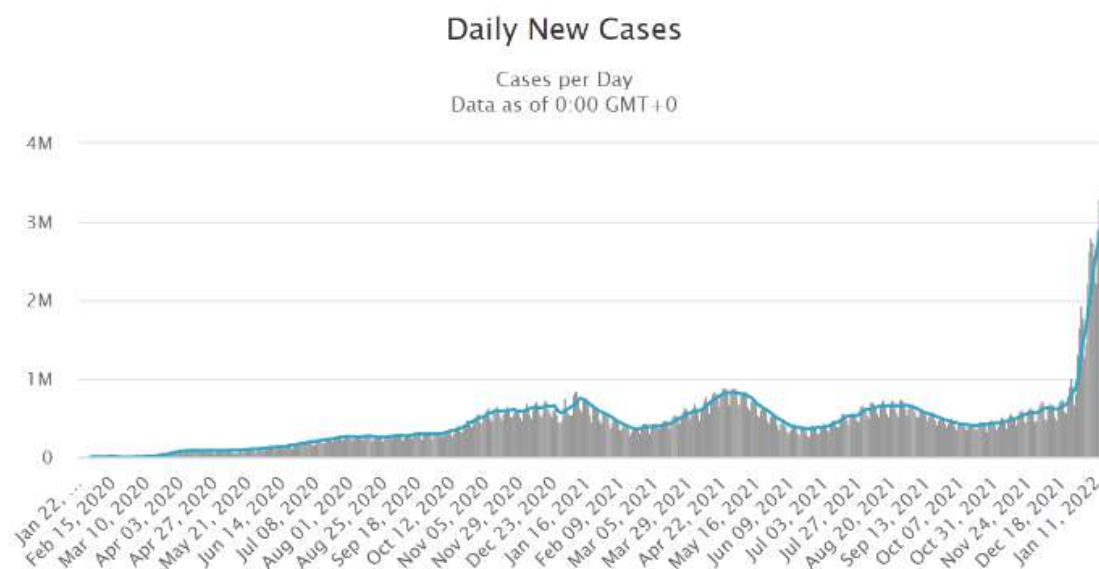


Рисунок 3. Динамика суточной скорости инфицирования КВ – 19 [10, 11]

Здесь интересными фактами являются не только влияние КВ19 на логистику флота, но также и обоюдное влияние логистики на КВ19, имеющее исторические аналоги. Действительно, на Рисунок 3.1 показана сопряженность путей португальских каравел XVI к Островам Пряностей – современная логистика в Индийском и Атлантическом Океанах не столь значительно отличается от их – и сукцессии доминирующих штаммов КВ19.

Обозрение иллюстраций, показанных на Рисунок 1 – Рисунок 3, вызывает внешне законный вопрос об отношении Рисунок 1 и Рисунок 2 к Рисунок 3. Ответом служат результаты обстоятельного мониторинга Цунами показывающие следующую картину распределения амплитуды волн – Рисунок 4.а. Здесь много аналогии с динамикой инфицированных КВ-19 – Рисунок 4.б. – например, нарастание амплитуды цуга волн движущихся от начальной точки и резкий обвал после достижения максимума.

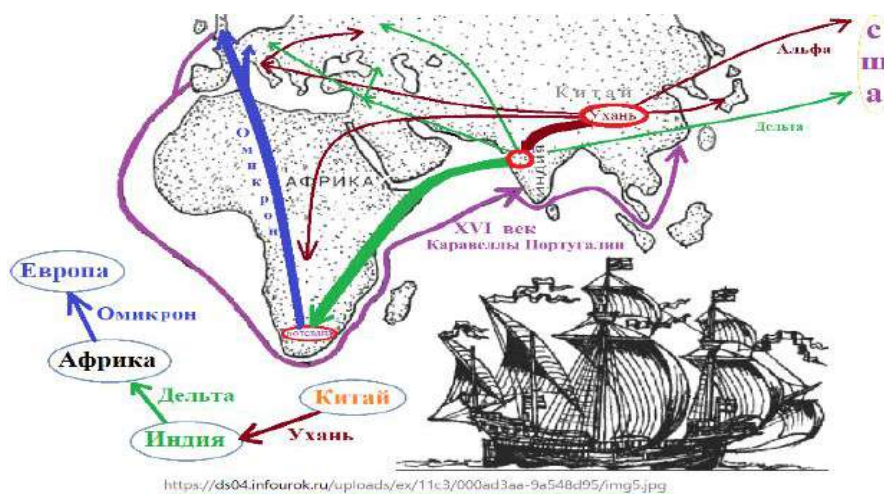


Рисунок 3.1. Сопряженность путей португальских каравел и сукцессии доминирующих штаммов КВ19

Однако, есть и различия – в отличие от обрушения океанских волн в береговой зоне в настоящей ситуации с КВ-19 галопирование пандемии прекратилось после второй мировой волны в силу принятия ограничительных мер на перемещение и проведения вакцинации, а не путем аналога обрушения – резкого сокращения численности населения Планеты меньше уровня «нижней критической численности распространения инфекции».

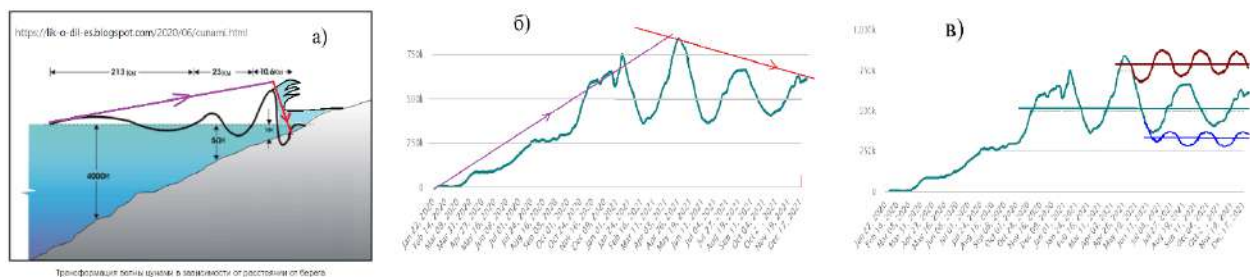


Рисунок 4. Сравнение параметров Цунами [8] и динамики инфицированных КВ-19 [10,11]

Кроме того, аналогичные феномены возникают и в других областях физики – например бесстолкновительные ударные волны в теории разреженной плазмы [23асл] -, которые показывают, как возможность, так и экспериментальное наличие более сложных вариантов динамики амплитуд, чем представленное на Рисунок 4.б – два уровня [23асл], Рисунок 4.в

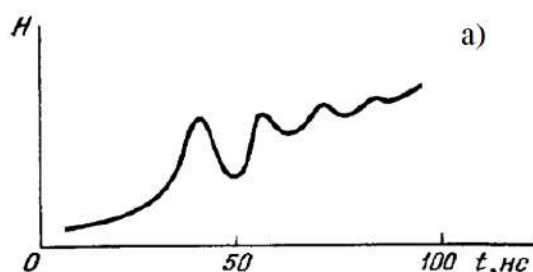


Рис. 8.19. Профиль бесстолкновительной ударной волны, генерируемой с помощью метода «магнитного поршня» (при быстром нарастании магнитного поля) [7]

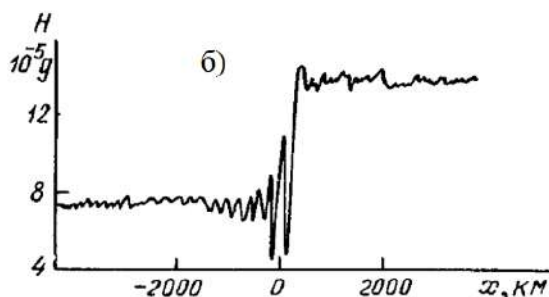


Рис. 8.20. Профиль магнитного поля во фронте косої межпланетной ударной волны с числом Маха $M=2,5$ по измерениям на борту спутника ISEE [9]

Рисунок 5. Более сложные варианты динамики амплитуд – ссылки по списку литературы

Динамика показанная на Рисунок 4.в., не только ярко подтверждается, как лабораторными экспериментами – Рисунок 5.а (Рисунок 8.19 по 23ас) -, так и астрономическими наблюдениями ударных волн в солнечном ветре – Рисунок 5.б (Рисунок 8.20 по 23ас), но и самой динамикой зараженности КВ – 19, вызванной штаммом Омикрон – Рисунок 3

Продолжим анализ общности океанологического и инфекционного Цунами. Здесь, подобно введению, вновь оказывается полезным классическое

высказывание Филиппа Ричарда Фейнмана – «Одинаковые уравнения — одинаковые решения [бФейн] и в качестве подтверждения этого приведем обобщенное уравнение (1), представляющее собой линейную комбинацию двух других классических уравнений – Бюргерса (2) и Кортевега – де Вриза (3).

$$1\partial v/\partial t + v\partial v/\partial x + \beta\partial^3 v/\partial x^3 = v\partial v^2/\partial x^2 \quad (1)$$

$$\partial v/\partial t + v\partial v/\partial x + = v\partial v^2/\partial x^2 \quad (2)$$

$$\partial v/\partial t + v\partial v/\partial x + \beta\partial^3 v/\partial x^3 = 0 \quad (3)$$

где, $v = v(t, x)$, v , β - скорость волны, коэффициенты вязкости (аналог диффузии) и дисперсии среды. Феноменологический смысл v и β сильно зависит от области решаемой задачи. Например, v в гидродинамике отражает вязкость, а при выравнивании концентраций субстанции – это коэффициент диффузии вещества. В теории электрических цепей v характеризует потери на нагрей проводов от сопротивления, β - электромагнитную индукцию.

Формальная суть коэффициентов v и β к сглаживанию при диффузии v произвольных кривых 2 – го порядка до горизонтальных прямых - констант, а при дисперсии - β - кривых 3 – го порядка до горизонтальных прямых.

Кроме того, при выводе уравнения (3) β приобретает смысл v , а v отражает сдвиг, а не разравнивание.

Далее, вводя переменную $\xi = x - \lambda t$ из (1) получим

$$\partial/\partial t[\beta\partial v^2/\partial \xi^2 - v\partial v/\partial \xi - \lambda v + 1/2v^2] = 0 \quad (4)$$

или, что эквивалентно,

$$\beta\partial v^2/\partial \xi^2 - v\partial v/\partial \xi - = A \quad (5)$$

Для (4), если уподобить ξ времени t , то существует вариационная форма в виде Лагранжеана L (5) [2Засл, 4Раб]

$$\`L = 1/2\partial v/\partial \xi^2 - (\lambda v^2/2 - v^3/6) \quad (6)$$

Если в (4) положить без потери общности $A = 0$ – отсутствие постоянного источника -, то получим классическое уравнение типа «реакция = λ – конвекция = v – диффузия = β », которое полностью включает все процессы распространения эпидемии [7Свир] – «конвекция – международные перелеты» и «диффузия – местный транспорт и распространение внутри зданий»

$$\beta\partial v^2/\partial t^2 = v\partial v/\partial t + \lambda v(1 - v/2\lambda) \quad (7)$$

Интересно отметить тот факт, что отношение v/β для КВ-19 практически совпадает с величиной смертности 0.029 против экспериментальных 0.0213 на 21.12.2021 [11], а отношение λ/β равно 0.162. Что, в свою очередь, практически

соответствует произведению коэффициента воспроизводства на шаг динамики в 1 неделю $1/7$ - Рисунок 5.

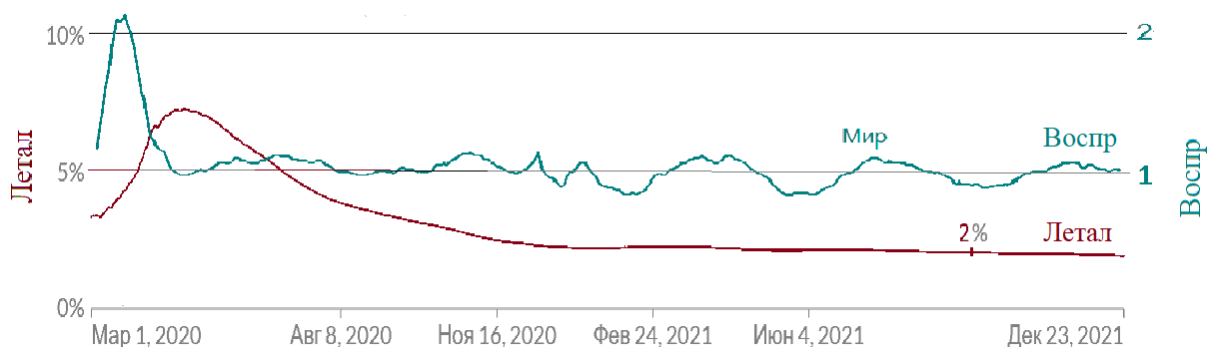


Рисунок 5. Динамика мировых коэффициентов воспроизводства и летальности [11]

В уравнении (6) вместо переменной ξ отражающей принятую в теоретической физике концепцию единства «пространства x – времени t » и оказывающуюся весьма полезной при решении более реальных проблем, связанных с пандемией КВ – 19, использована переменная t - времени.

Это вполне оправдано для описания, как мировой динамики КВ – 19, так и внутригосударственной – авиация и автотранспорт практически нивелируют расстояние x .

Рассмотрим эпидемиологический смысл уравнения (6). Член, стоящий в левой части отражает диффузию – разравнивание - по пространству (в нашем случае – это прямая) при коэффициенте диффузии β ; первый член в правой части описывает перемещение с одного конца области в другой со скоростью v ; второй член в правой части - интенсивность инфицирования со скоростью λ и емкостью среды $1/2\lambda$.

Кроме того, при $\beta = 0$ и $v < 0$ (6) представляет собой классическое уравнение Ферхюльста (7.1), решением которого является логистическая кривая (7.2), отражающая число инфицированных $v(t)$.

$$dv/dt = bv(1-v/K), \quad (8)$$

$$v(t) = KV_0 e^{bt} / [K + V_0(e^{bt} - 1)] = K[1 + \text{th}(b(t - t_0)/2)]/2, \quad (9)$$

где b, K – скорость роста численности популяции, емкость среды.

Далее, здесь мы не будем приводить, как результаты конкретного моделирования КВ – 19, так и их анализ – это специальный вопрос, требующий, как более продолжительного мониторинга, так и отдельного развернутого исследования, а только ограничимся замечанием того, что в начальный период пандемии определяющими процессами была конвекция и, меньшей степени, диффузия, обеспечивающая различие в емкостях среды в силу ее реальной

зависимости от интенсивности перемещения - практически катастрофическое увеличение в 4 раз, подобное Рисунок 6, – со 150 тысяч весной – летом 2020 г против 585 тысяч осенью 2020 г после курортного сезона Рисунок 3, которое особенно ярко видно на примере ежедневной смертности, и иллюстрациями адекватности модели КВ – 19 – Рисунок 5. - и фазовых портретов двух видов Цунами - океанологического и инфекционного – Рисунок 7.



Рисунок 6. Иллюстрация скачковых переходов на примере психологических феноменов в рамках теории катастроф - инет свободный доступ

В качестве обозначений на Рисунок 7 приняты: сине-зеленая кривая – сглаженное число ежедневных заболеваний; болотная - сглаженная ежедневная смертность увеличенная в 30 раз для масштабирования; числа – реальные значения заболеваний или смертности – $K = \text{тысячи/сутки}$.

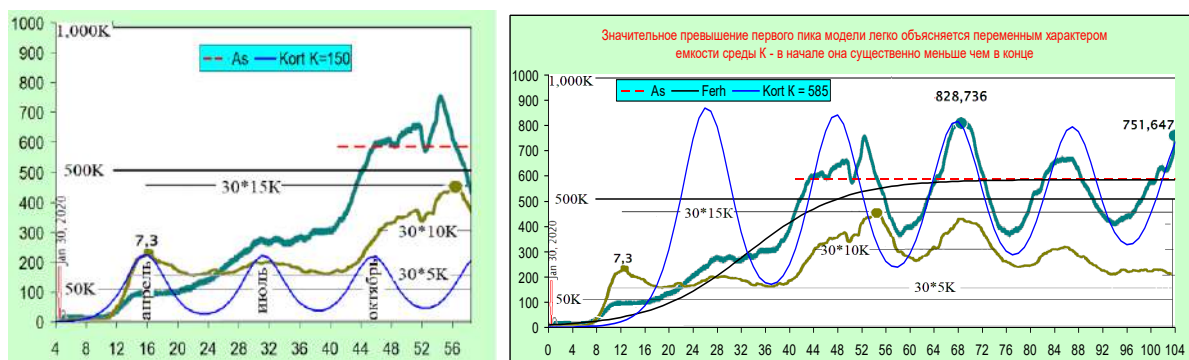
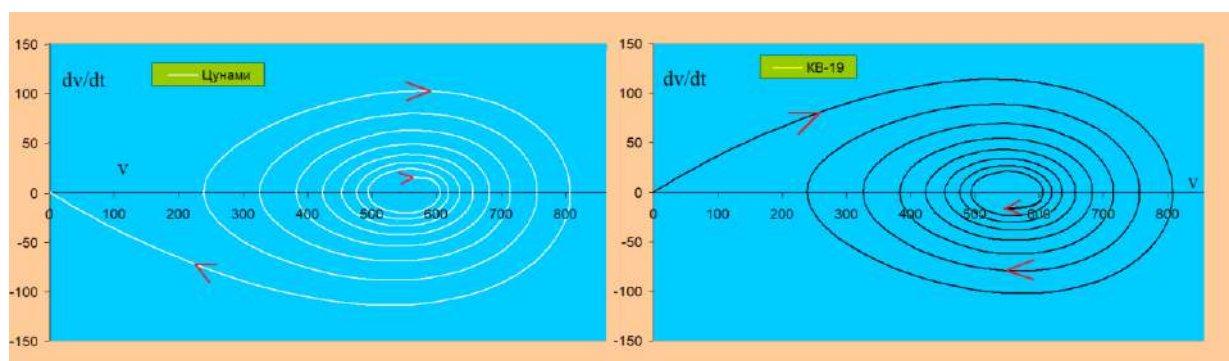


Рисунок 7. Иллюстрация адекватности модели КВ – 19 результатам мониторинга [10]

Как видно из Рисунок 8 принципиальное различие океанологического и инфекционного Цунами состоит – по – мимо иных феноменологических особенностей, относящихся к различным областям науки, – только в

направлении процесса. Что реализуется, как в зеркальном отражении от горизонтали, так и в положении начальной и конечной точек динамики.



а) Цунами б) кв19

Рисунок 8. Фазовые портреты океанологического и инфекционного Цунами

Выводы. Использование нелинейной физики имеет значимую эффективность для объяснения сложных практических явлений. Причем, ее основная задача состоит не в том, чтобы «до последнего листочка посчитать число листьев на дереве» – для этого есть другие области математики, а для того, чтобы «увидеть лес за деревьями» - основной фрейм проблемы.

Например, самой простой, линейной и достаточно адекватной моделью для описания пандемии КВ – 19 может служить простая линейная модель – цепь Маркова – (8):

$$\begin{pmatrix} P_z^{t+1} \\ P_i^{t+1} \\ P_d^{t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - z & r & 0 \\ z & 1 - r - d & 0 \\ 0 & d & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_z^t \\ P_i^t \\ P_d^t \end{pmatrix} \quad (10)$$

где, P_z^t , P_i^t , P_d^t – доли населения находящихся в состояниях – «здоров Z от КВ-19», «инфицирован I КВ-19», «умер D от КВ-19» в момент времени t; z, r, d – доли перехода из одного состояния другое : r -доля выздоровевших. Довольно обстоятельная статистика представлена на сайтах [13,14]

Обобщением модели (8) могут служить также в основной массе своей линейные модели типа «SEIRD» позволяющие описывать эпидемию преимущественно на стадии экспоненциального роста, которые использовались по весне 2020 г. в Китае [11Лю] и в России [13Дин].

Однако, использовать рассмотренные и прочие им подобные модели для получения фундаментальной картины пандемии КВ – 19 не целесообразно в силу их природы – здесь необходимы более основательные модели основанные на законах сохранения и отражающие эволюционные принципы.

Далее, вся сложность проблемы пандемии КВ – 19 проиллюстрированная на рассмотренных выше примерах заключается в том, что реакция объекта уже

не пропорциональна приложенной силе, а происходит в виде резкого увеличения – число зараженных при КВ – 19 – или резкого уменьшения на береговой, конечной фазе динамики высоты волны при океанологическом Цунами.

В случае с пандемией КВ – 19 появление штамма Омикрон феноменологически соответствует динамике социально – экономических изменений, произошедших при смене политико – экономической формации в России в начале 1990 – х гг [1Арнольд] – Рисунок 9.

Здесь динамика КВ – 19 в соответствии с принципом Ле – Шателье – Брауна – «Если на систему, находящуюся в равновесии, оказывается внешнее воздействие, равновесие сместится в ту сторону, где данное воздействие уменьшится» - также изменилась таким образом, что воздействие штаммов «Ухань – Альфа» снижается появлением штамма Омикрон.

Это является вполне естественной реакцией и вполне адекватно может быть описано моделью Костицина [6], отражающей генетические аспекты взаимодействия штаммов КВ – 19.

Однако, здесь уже в уравнениях (1) – (6) необходимо использовать потенциал Р - уравнение (5) уже не третьей степени, отражающий катастрофу склады, а четвертой, соответствующе катастрофе сборки [4].

В этих целях уже необходимо модифицировать классические уравнения – Бюргерса (2) и Кортевега – де Вриза (3) в виде (10), представляющем обобщение уравнения (1) где, множитель bv^2 можно интерпретировать в качестве отражения переноса кинетической энергии в уравнениях динамики среды. Тогда потенциал Р принимает вид (11)

$$\partial v / \partial t + [av + bv^2] \partial v / \partial x + \beta \partial^3 v / \partial x^3 = v \partial v^2 / \partial x^2, \quad (11)$$

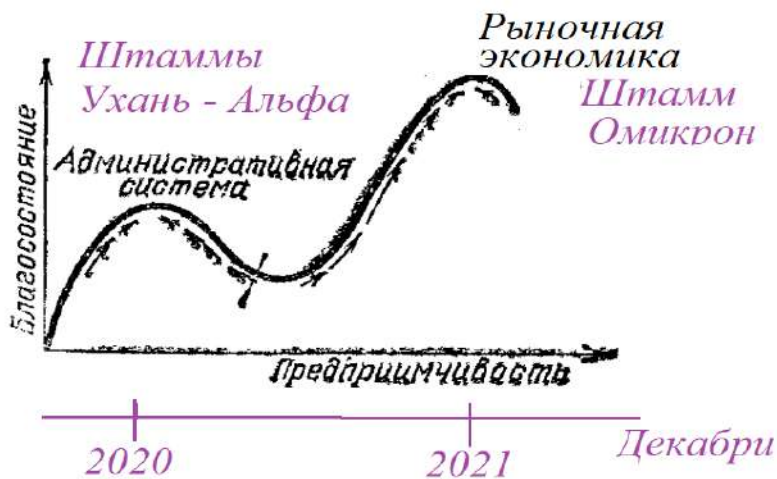


Рисунок 9. Заимствованно из [1] с дополнениями авторов

В биологическом смысле данная модификация отражает феномен нижней критической численности L [2Баз], когда уравнение динамики Ферхюльста (7.1) предстает в виде (12), причем состояние L является неустойчивой – что и показал штамм Омикрон.

$$L = \frac{1}{2} \partial v / \partial \xi^2 - (\lambda v^2 / 2 + av^3 / 6 + bv^4 / 8) \quad (12)$$

Вернемся к анализу Рисунок 9. Последствия вакцинации, проведенной зимой 2020 г – весной 2021 г, обеспечивающие снижение численности зараженности летом и осенью 2021 г, привели к неожиданному, но вполне возможному даже по схемам полигибридного скрещивания и мутаций, возникновению штамма Омикрон. Данная ситуация говорит о том, что состояние К является, м.б. и локально, более устойчивым состоянием L.

$$dv/dt = bv(v - L)(1 - z/K) \quad (13)$$

В экономических терминах вышеописанная картина событий соответствует в корне иной ситуации – для того, чтобы перейти от менее продуктивной экономики А к более продуктивной Б необходимо миновать период с еще меньшей, чем А экономикой С [1Арн].

Список литературы

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
2. Базыкин А. Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. - Москва-Ижевск: Инс-т компьютерных исследований. - 2003. -368 с.
3. Гайденок Н.Д. Особенности геологической эволюции полупроходной ихтиофауны сибирских рек // Рыбное хозяйство. - 2020. - № 4. -С 16-25.
4. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса – М.: Наука, 1988. -308 с.
5. Постон Г., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения//перс. с англ. -М.: Мир, 1980. - 608 с.
6. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1984. – 432 с.
7. Свиричев Ю.М., Пасеков В.П. Основы математической генетики. -М. Наука, 1982. – 512 с.
8. Свиричев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. – М. Наука, 1987. – 360 с.
9. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Электричество и магнетизм // перс. с англ. - М.: Мир, 1980. Т. 5. - 608 с.
10. Alikhanov S. G. e. a. // Plasma Phys, and Controlled Nucl. Fus. Res.-1969. - V. 1. - P. 47.
11. Arzhannikov S.G., Ivanov A.V., Arzhannikova A.V., Demonterova E.I., Jansen J.D., Preusser F., Kamenetsky V.S., Kamenetsky M.B. Catastrophic events in the Quaternary outflow history of Lake Baikal // Earth-Science Reviews 2018, v. 177, p. 76 – 113
12. Liu Z, Magal P, Seydi O, Webb GF. Predicting the cumulative number of cases for the COVID-19 epidemic in China from early data. Populations and Evolution. 2020:1-10. DOI: 10.20944/preprints202002.0365.v1.

13. Russel G. T., Greenstadt E. W. Report of Inst, of Geophys. and Planet. Phys.-1978. - No. 1847.
14. Динамика распространённости COVID-19 в мире на 07.04.2020 (nsu.ru).
15. <https://tainaprirody.ru/gidrosfera/tsunami>.
16. <https://zen.yandex.ru/viseo/watch/5ed1365d709fb133f9731c62>.
17. <https://www.worldometers.info/coronavirus/worldwide-graphs/>.
18. <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>.
19. https://vesti-ua.net/uploads/posts/2018-11/1543606683_ze1.jpg.

References

1. Arnold V.I. Theory of catastrophes. – М.: Nauka, 1990. – 128 p.
2. Bazykin A.D. Nonlinear dynamics of interacting populations. - - Moscow- Izhevsk: Institute of Computer Research, 2003.- 368 p.
3. Gaidenok N.D. Features of the geological evolution of the semi-navigable ichthyofauna of Siberian rivers // Fisheries.- 2020. -No. 4.- From 16-25.
4. Zaslavsky G.M., Sagdeev R.Z. Introduction to nonlinear physics: from the pendulum to turbulence and chaos.- М.: Nauka, 1988.-308 p.
5. Poston G., Stewart I. The theory of catastrophes and its applications//Persian from English. -М.: Mir, 1980. - 608 p.
6. Rabinovich M.I., Trubetskov D.I. Introduction to the theory of vibrations and waves. - М.: Nauka, 1984. -432 p.
7. Svirezhev Yu.M., Pasekov V.P. Fundamentals of mathematical genetics. - М. Nauka, 1982.-512 p.
8. Svirezhev Yu.M. Nonlinear waves, dissipative structures and catastrophes in ecology. -М.: Nauka, 1987. - 360 s.
9. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feynman lectures on physics. lectricity and magnetism // Persian from English – М.: Mir, 1980, vol.5. – 608 p.
10. Alikhanov S. G. e. a. // Plasma Phys, and Controlled Nucl. Fus. Res. - 1969. -V. 1. -P. 47 (Intern. Atomic Energy Agency).
11. Arzhannikov S.G., Ivanov A.V., Arzhannikova A.V., Demonterova E.I., Jansen J.D., Preusser F., Kamenetskyd V.S., Kamenetsky M.B. Catastrophic events in the Quaternary outflow history of Lake Baikal // Earth-Science Reviews. 2018. v. 177. p. 76 – 113.
12. Liu Z, Magal P, Seydi O, Webb GF. Predicting the cumulative number of cases for the COVID-19 epidem- ic in China from early data. Populations and Evolution. 2020:1-10. DOI: 10.20944/preprints202002.0365.v1
13. Russel G. T., Greenstadt E. W. Report of Inst, of Geophys. and Planet. Phys.- 1978. - No. 1847.
14. The dynamics of the prevalence of COVID-19 in the world on 07.04.2020 (nsu.ru).
15. <https://tainaprirody.ru/gidrosfera/tsunami>.

16. <https://zen.yandex.ru/viseo/watch/5ed1365d709fb133f9731c62>.
17. <https://www.worldometers.info/coronavirus/worldwide-graphs/>.
18. <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>.
19. https://vesti-ua.net/uploads/posts/2018-11/1543606683_ze1.jpg.

**Евлаков П.М., Жужукин К.В.,
Попова А.А., Евтушенко Н.А.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Перспективы и проблемы снижения выбросов углерода лесными насаждениями

Аннотация: Улавливание и хранение углерода – это перспективная технология, которой не хватает НИОКР. Функциональные особенности растений контролируют различные процессы в наземных экосистемах, включая накопление углерода в почве, которое является ключевым компонентом глобального углеродного цикла. Свойства растений, которые стимулируют поглощение углерода, в основном проявляются за счет высокой первичной продуктивности (большое количество поступающего углерода) или медленного разложения (низкий выход углерода). Различные страны, чтобы достичь целевого показателя по сокращению выбросов парниковых газов, внедряют ряд технологий, которые включают использование чистых и экологичных видов топлива, повышение энергоэффективности и энергосбережения, а также внедрение технологии в соответствии с их состоянием дел.

Ключевые слова: секвестрация углерода, климатические проекты, лесные насаждения, снижение эмиссии углекислого газа.

**Evlakov P.M.¹, Zhuzhukin K.V.¹,
Popova A.A.¹, Evtushenko N.A.¹.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Prospects and problems of reducing carbon emissions from forest plantations

Abstract: Carbon capture and storage is a promising technology that lacks R&D. Plant functional traits control various processes in terrestrial ecosystems, including soil carbon storage, which is a key component of the global carbon cycle. Plant traits that promote carbon sequestration are primarily due to high primary productivity (high carbon input) or slow decomposition (low carbon output). Various countries, in order to achieve the target of reducing greenhouse gas emissions, are adopting a number of technologies, which include the use of clean and green fuels,

increasing energy efficiency and energy conservation, and adopting technology according to their state of affairs.

Key words: carbon sequestration, climate projects, forest plantations, reduction of carbon dioxide emissions.

Выбросы парниковых газов (ПГ) в атмосферу Земли или окружающую среду являются основной причиной парникового эффекта и глобального потепления, которые в конечном итоге все более быстрыми темпами ухудшают здоровье земли в результате изменения климата, повышения уровня моря и других серьезных изменений окружающей среды [1-4]. Из-за увеличения производства этих газов на планете выделяется меньше тепла, что приводит к усилению глобального потепления. За такое перепроизводство этих парниковых газов ответственны различные секторы, которые включают сжигание ископаемого топлива, промышленные процессы, побочные продукты сельского хозяйства (сжигание растительных остатков) и транспортное топливо, загрязняющее воздух. Различные исследования показали, что газ CO_2 играет важную роль, т.е. составляет 63% по сравнению с другими парниковыми газами, поэтому его необходимо стандартизировать, чтобы предотвратить разрушение матери-природы [5].

CO_2 может образовываться как в результате естественной, так и искусственной деятельности, такой как извержение вулкана, разложение органических материалов и многочисленные антропогенные воздействия. Поскольку тенденция к потеплению за последние 100 лет увеличилась почти вдвое за нынешние 50 лет, это ясно показывает, что уровень CO_2 в атмосфере повышается. Растущий уровень CO_2 влияет не только на водную экосистему, но и на наземную экосистему, что вызывает серьезную озабоченность по поводу прекращения или контроля над этой проблемой до того, как мы достигнем точки, когда станет невозможно обуздать ущерб, причиняемый этими выбросами [6].

Во всем мире наземные экосистемы содержат около 2100 Гт углерода [7], из которых более двух третей накапливается в почвах [8]. Часть этого почвенного углеродного пула сильно меняется в пространстве и времени, в то время как большой 'инертный' углеродный пул может стать 'активным' при воздействии новых условий окружающей среды. Таким образом, быстрые климатические изменения могут превратить почвы из поглотителей в источники атмосферного углерода [9]. Большая способность почв накапливать углерод предполагает потенциальную "функцию" почв по снижению возрастающих концентраций CO_2 в атмосфере.

Свойства растений, которые стимулируют поглощение углерода, в основном проявляются за счет высокой первичной продуктивности (большое количество поступающего углерода) или медленного разложения (низкий выход углерода), которые, как правило, являются компромиссом на уровне отдельных особей. В разных биомах факторы окружающей среды определяют особенности растений, которые обеспечивают их устойчивость при определенных режимах температуры, осадков и доступности света. Как правило, там, где почвенные ресурсы (питательные вещества, вода, кислород, pH) ограничивают рост,

доминируют признаки растений, определяющие сохранение углерода и питательных веществ: медленный рост, высокое соотношение С: N и корней: побегов, высокое содержание вторичных метаболитов, длительный срок жизни (органов) и длительное время пребывания подстилки. Напротив, растения с противоположными признаками доминируют в благоприятных почвенных условиях, но при ограничении освещенности. Ассоциации растений с почвенными организмами имеют решающее значение для поддержания поступления углерода от первичной продуктивности, а также для выделения углерода и стабилизации углерода в почве.

Люди постоянно вносят свой вклад в выбросы парниковых газов в атмосферу. Энергетика, нефтехимическая промышленность, нефтеперерабатывающие заводы, нефте- и газоперерабатывающая промышленность, черная металлургия и производство цемента входят в число основных источников выбросов CO². МГЭИК отметила в своем третьем отчете об оценке, что никакая единственная технология не сможет обеспечить выход из общего процесса сокращения выбросов. Различные страны, чтобы достичь целевого показателя по сокращению выбросов парниковых газов, внедряют ряд технологий, которые включают использование чистых и экологичных видов топлива, повышение энергоэффективности и энергосбережения, а также внедрение технологии в соответствии с их состоянием дел. Среди различных технологий технологии улавливания с каждым годом растут в геометрической прогрессии.

Метод улавливания углерода включает в себя различные способы, такие как химическая адсорбция, мембранная технология, криогенное разделение и т.д., которые обладают большими преимуществами, такими как малоотходное производство, термическая стабильность, а также экологическая стабильность и эффективность улавливания при разделении. Наряду с этим, определенные методы сжигания для улавливания CO², такие как дожигание, предварительное сжигание, сжигание кислородного топлива, помогают отделить CO² от других элементов. Хранение улавливаемого углерода может быть достаточно эффективным для восстановления отработанной нефти, повышения прочности при укладке под открытым небом и т.д.. Этот механизм накопления CO², такой как капиллярное улавливание, растворение, адсорбция и минерализация, безопасен при использовании с надлежащей поверхностью, а также при использовании методов контроля давления. Улавливание и хранение углерода - это перспективная технология, которой не хватает НИОКР.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000020-6-4.1.2 «Отбор хозяйственно ценных и устойчивых к изменению климата древесных культур, отличающихся высокой биологической продуктивностью и потенциалом секвестрации углерода с учетом региональных почвенно-климатических особенностей для реализации лесоклиматических проектов (FZUR-2023-0002)».

The study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000020-6-4.1.2 "Selection of economically valuable and resistant to climate change forest crops, characterized by high biological productivity and carbon sequestration potential, taking into account regional soil and climatic characteristics for the implementation of forest climate projects (FZUR-2023-0002)"

Список литературы

1. Baena-Moreno F. M. et al. Carbon capture and utilization technologies: a literature review and recent advances //Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2019. – Т. 41. – №. 12. – С. 1403-1433.
2. Yu K. M. K. et al. Recent advances in CO₂ capture and utilization //ChemSusChem: Chemistry & Sustainability Energy & Materials. – 2008. – Т. 1. – №. 11. – С. 893-899.
3. Winter F. et al. Introduction to CO₂ separation, purification and conversion to chemicals and fuels //CO₂ Separation, Purification and Conversion to Chemicals and Fuels. – 2019. – С. 1-3.
4. Zhang Y. J., Da Y. B. The decomposition of energy-related carbon emission and its decoupling with economic growth in China //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Т. 41. – С. 1255-1266.
5. Bhuvaneshwari S., Hettiarachchi H., Meegoda J. N. Crop residue burning in India: policy challenges and potential solutions //International journal of environmental research and public health. – 2019. – Т. 16. – №. 5. – С. 832.
6. Riphah U. S. Global warming: causes, effects and solutions //Durreesamin Journal. – 2015. – Т. 1. – №. 4. – С. 1-7.
7. Khurana N. et al. Carbon Capture: Innovation for a Green Environment //Advances in Carbon Capture and Utilization. – 2021. – С. 11-31.
8. Aerts, Rien, and F. Stuart Chapin III. "The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns." Advances in ecological research. Vol. 30. Academic Press, 1999. 1-67.
9. Bardgett, Richard D., and David A. Wardle. "Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities." Ecology 84.9 (2003): 2258-2268.

References

1. Baena-Moreno F. M. et al. Carbon capture and utilization technologies: a literature review and recent advances //Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2019. – Т. 41. – №. 12. – С. 1403-1433.
2. Yu K. M. K. et al. Recent advances in CO₂ capture and utilization //ChemSusChem: Chemistry & Sustainability Energy & Materials. – 2008. – Т. 1. – №. 11. – С. 893-899.
3. Winter F. et al. Introduction to CO₂ separation, purification and conversion to chemicals and fuels //CO₂ Separation, Purification and Conversion to Chemicals and Fuels. – 2019. – С. 1-3.

4. Zhang Y. J., Da Y. B. The decomposition of energy-related carbon emission and its decoupling with economic growth in China //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – T. 41. – C. 1255-1266.
5. Bhuvaneshwari S., Hettiarachchi H., Meegoda J. N. Crop residue burning in India: policy challenges and potential solutions //International journal of environmental research and public health. – 2019. – T. 16. – №. 5. – C. 832.
6. Riphah U. S. Global warming: causes, effects and solutions //Durreesamin Journal. – 2015. – T. 1. – №. 4. – C. 1-7.
7. Khurana N. et al. Carbon Capture: Innovation for a Green Environment //Advances in Carbon Capture and Utilization. – 2021. – C. 11-31.
8. Aerts, Rien, and F. Stuart Chapin III. "The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns." Advances in ecological research. Vol. 30. Academic Press, 1999. 1-67.
9. Bardgett, Richard D., and David A. Wardle. "Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities." Ecology 84.9 (2003): 2258-2268.

Иванова А.В., Лопатин В.Л.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Экономические аспекты утилизации ТКО в региональной системе

Аннотация. В статье дана оценка сложившейся системе утилизации отходов и рассмотрены методы установления норм образования твердых коммунальных отходов. Предложен методический подход к определению норматива накопления ТКО, учитывающий ряд социально-экономических факторов, которые находятся в корреляционной связи с объемами накопления отходов.

Ключевые слова: отходы, регион, утилизация, нормативы

Ivanova A.V., Lopatin V.L.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Economic aspects of msw disposal in the regional system

Abstract. The article assesses the current waste disposal system and discusses methods for establishing standards for the generation of solid municipal waste. A methodological approach to determining the standard for MSW accumulation is proposed, taking into account a number of socio-economic factors that are in correlation with the volume of waste accumulation.

Key words: waste, region, recycling, standards

Ежегодно в России по данным Росприроднадзора производится около более 10 млрд. т мусора. При этом утилизируется и обезвреживается только половина всех твердых коммунальных отходов в России.

В целях предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечения таких отходов в хозяйственный оборот 4 августа 2023 года вступил в силу федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1]. В соответствии с ним в стране начался переход на новую систему обращения с ТКО.

В связи с этим с одним из важнейших факторов надежности и последовательности принимаемых решений в сфере обращения с отходами является достоверность исходных данных, на основе которых осуществляется координация процесса обращения с отходами. Исследование объемов

образующихся отходов является первым этапом в цепи вопросов, формирующих учетную политику в сфере обращения с отходами.

Знание первичных объемов позволяет планировать всю систему обращения с отходами, начиная с этапа сбора и заканчивая обезвреживанием отходов, а мониторинг отходов позволит обеспечить систему перспективного планирования.

В этой связи, объективная необходимость в совершенствовании системы учета накопления твердых бытовых отходов на территории муниципального образования позволяющей учесть все социально-экономические факторы.

В целях обеспечения охраны окружающей среды и здоровья человека, уменьшения количества отходов применительно к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, в результате хозяйственной и (или) иной деятельности которых образуются отходы, устанавливаются нормативы образования отходов и лимиты на их размещение.

Статья 18 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ предписывает хозяйствующим субъектам рассчитывать нормативы с опорой на экологическое законодательство.

На обоснование нормативов накопления твердых коммунальных отходов (далее ТКО), оценке их плотности, как правило, влияют разнообразные факторы, основными из которых являются:

неравномерность их накопления по климатическим зонам и географическим условиям, периодам года (теплый, холодный), дням недели (рабочие, выходные, праздничные дни), влияющие на морфологический состав отходов;

существенные различия в насыпной плотности неоднородных компонентов ТКО и КГМ, кроме того, зачастую расчеты по некоторым компонентам осуществляются с учетом приведенного показателя истинной плотности каждого компонента, а не насыпной, отражающей реальную оценку объемного веса отходов; уровень жизни, специфические условия ведения домашнего хозяйства, организации быта в различных регионах и поселениях;

сезонные особенности проживания населения в летний период (отпуска, каникулы), что значительно сказывается на количестве образующихся отходов [2].

Нормы накопления отходов принято разделять на дифференцированные (индивидуальные) по месту их образования и общие нормы на одного жителя в год.

Вследствие влияния многочисленных факторов на накопление отходов плановые (расчетные) нормы могут быть использованы только в работах, связанных с планированием и прогнозированием, до установления и утверждения фактических местных норм [3].

По данным Росприроднадзора, к началу 2021 года в России было накоплено 51 млрд. 75 млн. тонн промышленных и бытовых отходов [4].

По данным официальной статистики в 2021 году российская экономика сгенерировала 8,5 млрд. тонн отходов (таблица 1).

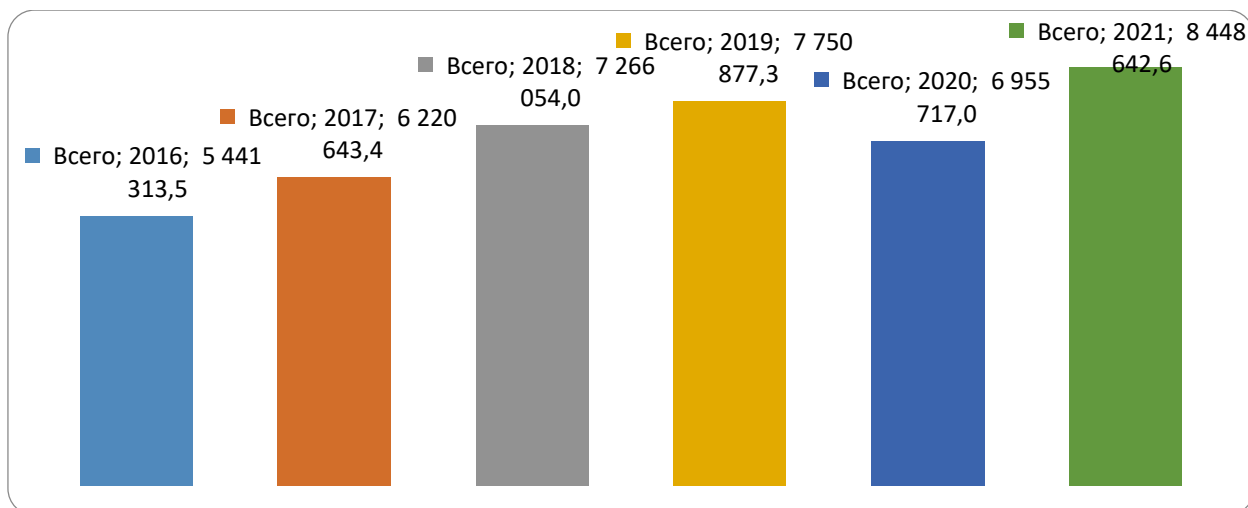


Рисунок 1 - Образование отходов производства и потребления в результате экономической деятельности по Российской Федерации, тыс. тонн

Не секрет, что проблема накопления твердых бытовых отходов (ТБО) до последнего времени замалчивалась, а вопросы строительства мусороперерабатывающих заводов пребывали в относительном забвении. При этом продолжали расти сотни мусорных полигонов, куда по инерции вывозился мусор. Сравнительный анализ состояния дел в сфере утилизации мусора свидетельствует о сохраняющейся тенденции накопления ТКО на мусорных полигонах в РФ (таблица 1).

Таблица 1 - Сравнение систем утилизации мусора в разных странах [5]

	Россия	США	Германия	Финляндия
Количество ТКО, млн.т.	70	262	52,4	2,7
Нагрузка на окружающую среду, тонн ТКО/кв.м.	2,9	25	144,9	н/д
Захоронение отходов на мусорных полигонах, %	94	52	1	3
Переработка мусора и компостирование, %	4	35	66	44
Сжигание с использованием полученной энергии, %	2	13	33	53

Анализ существующей системы учета накопления твердых бытовых отходов в Российской Федерации показал, что нормирование объемов накопления твердых коммунальных отходов в Российской Федерации устанавливается дифференцированно в отношении:

- территорий субъекта Российской Федерации - муниципальных образований (групп муниципальных образований) и зон деятельности региональных операторов по обращению с твердыми коммунальными отходами;
- категорий потребителей услуги по обращению с отходами;
- категорий объектов, на которых образуются отходы.

Однако существуют и иные факторы, которые непосредственно влияют на накопление твердых бытовых отходов, и которые следует учитывать при определении нормативов накопления ТКО.

Так Марьев В.А. к таким факторам относит неравномерность образования твердых бытовых отходов по природно-климатическим зонам и географическим условиям, уровню жизни, а также сезонными особенностями перемещения и места проживания населения в различные периоды времени.

Никуличевым Ю.В. установлено, что объемы твердых бытовых отходов, производимых обществом находятся в зависимости от объемов национального ВВП и коррелирует с темпами его роста [6].

На объемы накопления твердых бытовых отходов может влиять экономическая ситуация, пандемия или иные критические события. Так, во время экономического спада в Воронежской области общий объем отходов сократился, а по мере восстановления экономики вернулся к прежним значениям. По данным федерального статистического наблюдения образование отходов производства и потребления в Воронежской области в 2016 г. составило 8,105 млн.тонн, 2017 г. – 7,496 млн.тонн, в 2018 г. – 7,580 млн.тонн.

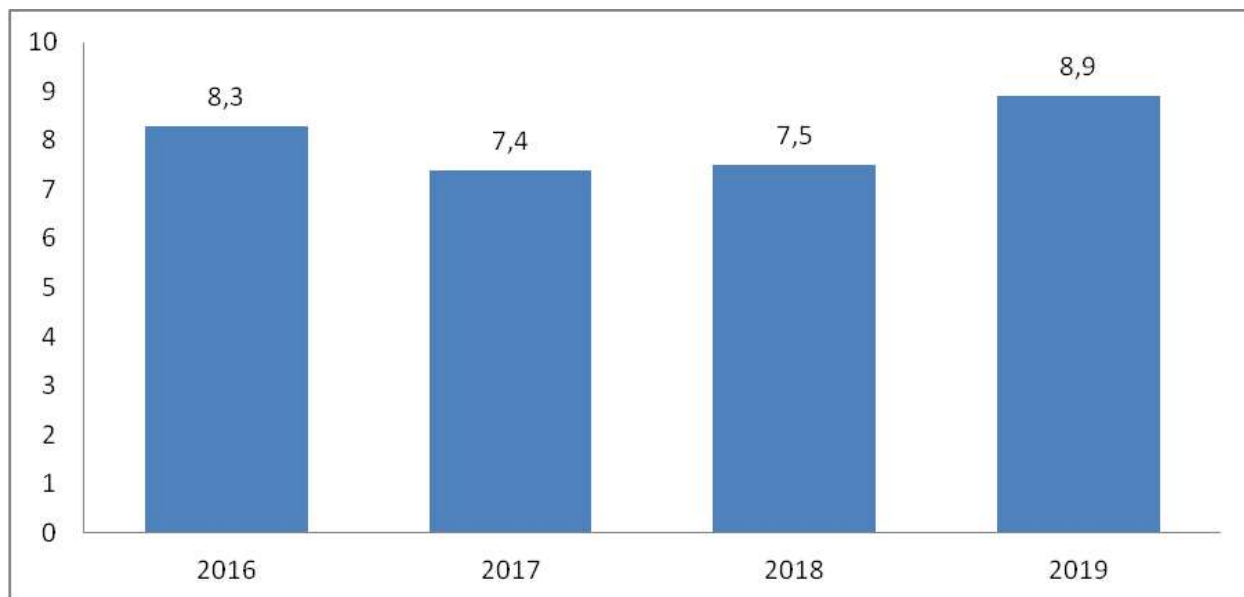


Рисунок 2 – Динамика количества образованных отходов производства и потребления на территории Воронежской области, млн.тонн

Данные о емкости полигонов ТБО и объеме размещенных отходов, использованных для целей анализа, основаны на данных регионального кадастра отходов и информации территориального управления Росприроднадзора, и составляют на 01.02.2020 8961,26 тыс. тонн. Общая емкость полигонов на территории области составляет 17 961,9 тыс. тонн., из которых заполнено 8 961,3 тыс. тонн или 49,9 %, таким образом, остаточной емкости полигонов при объеме ежегодно образующихся отходов 1 523,0 тыс. тонн должно хватить почти на 6 лет [7].

Однако, существующие тарифы на вывоз и утилизацию отходов, базирующиеся нормативах накопления и сложившаяся система утилизации мусора на полигонах не позволяют снизить количество отходов и обеспечить переход к разделному сбору ТКО. В региональной системе необходима работа

по переходу на новую систему обращения с отходами, включая реализацию проектов запуска мусороперерабатывающих заводов.

Исходя из проведенного анализа факторов и условий, влияющих на величину норматива накопления ТКО предлагается следующий методический подход к определению данного показателя в объемах на одного человека в год в виде расчетной зависимости:

$$M_{\text{НАК}} = V_{\text{НАК}} \times (\sum P_{yi} \times D_i \times I_{ui}) \times I_T \times I_{\text{КЖ}} \times I_{\text{БЖ}} \times I_{\text{МЖ}} \times I_{\text{СЕЗ}} \quad (1)$$

где $M_{\text{НАК}}$ - норматив накопления ТКО на одного человека в год по объему (куб.м/год);

$V_{\text{НАК}}$ - объем накопления ТКО на одного проживающего в год, куб.м, рассчитанный на человека;

D_i - содержание компонентов ($i=1, 2, 3...n$) в составе твердых коммунальных отходов по объему (по перечню, принятому в территориальной схеме, усредненное по региону или детализированному в схемах санитарной очистки), долей (%/100);

P_{vi} - насыпная плотность i -го компонента ТКО т/куб.м;

I_{ui} - индекс, учитывающий использование t -го компонента ТКО для собственных хозяйственно-бытовых, агротехнических нужд (применяется для жителей индивидуальных домов в сельской местности с приусадебным хозяйством);

I_T - индекс, учитывающий фактическое время проживания в домовладении, квартире с учетом отпусков, дачного сезона (в случае получения жителями справок в органах местного самоуправления о месте и сроках проживания в данной местности);

$I_{\text{КЖ}}$ - индекс, характеризующий качество жилого помещения;

$I_{\text{БЖ}}$ - индекс, характеризующий благоустройство жилого помещения;

$I_{\text{МЖ}}$ - индекс, месторасположение дома;

$I_{\text{СЕЗ}}$ - индекс, учитывающий сезонное образование ТКО.

Такой методический подход направленный на оптимизацию объема образования ТКО будет стимулировать жителей регионов к максимально технически возможному и гигиенически безопасному использованию вторичных ресурсов для собственных нужд, отдельному сбору и предварительной обработке компонентов ТКО.

Список литературы

1. Федеральный закон от 4 августа 2023 года № 476-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об отходах производства и потребления"
2. Марьев В.А. Инновационная система организации, учета обращения с твердыми коммунальными и крупногабаритными отходами, экономического стимулирования их отдельного сбора и обработки [Электронный ресурс]/ В.А. Марьев, Ф.Ф. Гаев, С.И. Шканов, А.М. Якушина, М.Л. Рахманов, Е.Г. Величко, В.В. Юшин, С.А. Вахрушев, Э.С. Цховребов // Вестник МГСУ. 2019. №1 (124).– Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnaya->

- sistema-organizatsii-ucheta-obrascheniya-s-tverdymi-kommunalnymi-i-krupnogabaritnymi-otходami-ekonomicheskogo
3. Morkovina S.S. PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT/ Morkovina S.S., Bryndina L.V., Sukhova V.E., Ivanova A.V./ В сборнике: Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage. Proceedings of the 34rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019. 2019. С. 2811-2821.
 4. <https://tass.ru/info/11787987>
 5. <https://stolypin.institute/storage/app/media/researches/sistemy-utilizatsii-otходov-raznyh-stran-25-09-2019.pdf>
 6. Никуличев Ю.В. Управление отходами. Опыт Европейского союза. Аналит. обзор / РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ. исслед. глоб. и регионал. пробл. Отд. проб. европ. безопасности. – М. 2017, 55 с.
 7. https://ksp-vrn.ru/upload/iblock/f8f/mhj15pocpreknc36ild52kz1au53np6h/22_Otchet-2.24_2020_295_315.pdf

References

1. Federal Law No. 476-FZ of August 4, 2023 "On Amendments to the Federal Law "On Production and Consumption Waste"
2. Maryev V.A. Innovative system of organization, accounting of solid municipal and bulky waste management, economic stimulation of their separate collection and processing [Electronic resource]/ V.A. Maryev, F.F. Gaev, S.I. Shkanov, A.M. Yakushina, M.L. Rakhmanov, E.G. Velichko, V.V. Yushin, S.A. Vakhrushev, E.S. Tskhovrebov // Vestnik MGSU. 2019. №1 (124).– Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnaya-sistema-organizatsii-ucheta-obrascheniya-s-tverdymi-kommunalnymi-i-krupnogabaritnymi-otходami-ekonomicheskogo>
3. Morkovina S.S. PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT/ Morkovina S.S., Bryndina L.V., Sukhova V.E., Ivanova A.V./ In the collection: Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage. Proceedings of the 34th International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019. 2019. pp. 2811-2821.
4. <https://tass.ru/info/11787987>
5. <https://stolypin.institute/storage/app/media/researches/sistemy-utilizatsii-otходov-raznyh-stran-25-09-2019.pdf>
6. Nikulichev Yu.V. Waste management. The experience of the European Union. Analyte. review / РАН. INION. The center of scientific-inform. research. globe. and regional. probl. Otd. prob. europe. security. – М. 2017, 55 p.
7. https://ksp-vrn.ru/upload/iblock/f8f/mhj15pocpreknc36ild52kz1au53np6h/22_Otchet-2.24_2020_295_315.pdf

Лес как экономический ресурс

Аннотация. В статье обосновывается роль лесов как экономического ресурса. Очерчены основания и случаи применения экономической оценки лесов в современных условиях хозяйствования, обосновывающей необходимость и возможность осуществления такой оценки. Поскольку лес является сложным природным объектом и одновременно объектом целенаправленной хозяйственной деятельности людей и источником лесных ресурсов, еще воплощающих экономические выгоды, предложено разграничивать оценку лесу как экологической системы и объекта экономики.

Ключевые слова: лес, экономика, ресурс, капитал

Kolotushkin A.A., Rudnitskikh A.A.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Forests as an economic resource

Abstract. The role of forests as an economic resource has been substantiated. The grounds and cases of economic assessment application of forests in modern management conditions have been outlined, justifying the necessity and possibility of implementation of such assessment. Since the forest is a complex natural object and at the same time an object of purposeful economic activity of people, embodying economic benefits. It is proposed to distinguish between the forest assessment as an ecological system and an economic object.

Key words: forest, economy, resource, capital

По сравнению с некоторыми другими академическими дисциплинами экономика не известна особой терпимостью к пересмотру своих «основных» концепций или парадигм. Тем не менее, сегодня в экономическом мировоззрении мира происходят серьезные изменения, и это, вероятно, будет

иметь глубокие последствия на многие годы вперед. Лесные ресурсы являются важнейшим природным ресурсом, который обеспечивает широкий спектр основных услуг для людей и незаменим как компонент социальных услуг.

Общий объем производственных ресурсов экономики обычно делится на четыре широкие категории: земля, рабочая сила, капитал и предпринимательство. Каждый из них обладает отличительными экономическими характеристиками, и каждый генерирует экономическую отдачу различного рода, а именно арендную плату, заработную плату, проценты и прибыль соответственно.

Лесные ресурсы делятся на две из этих категорий. Основным ресурсом являются лесные угодья, которые обладают теми же экономическими характеристиками, что и сельскохозяйственные и другие земли. В любом месте предложение фиксировано; оно различается по качеству продукции; и оно генерирует остаточную стоимость, или арендную плату, которая меняется соответствующим образом [1,4,5]. Лесные угодья и древесина являются экономическими ресурсами, поскольку они ценны для производства других конечных товаров и услуг. Спрос на землю и древесину проистекает из потребительского спроса на эти конечные продукты и в этом смысле является «производным» спросом.

Особые характеристики лесных ресурсов [2,3]? которые оправдывают рассмотрение экономики лесного хозяйства как особой области изучения, можно резюмировать следующим образом:

- леса могут производить широкий спектр товаров и услуг и их комбинаций, некоторые из которых не имеют рыночной цены. Это порождает особые проблемы, связанные с распределением ресурсов между видами использования.
- за исключением некоторых тропических и умеренных видов, для выращивания лесов обычно требуется много времени, часто требующего вложений в течение десятилетий. Это порождает особые проблемы при анализе инвестиций, графиках уборки урожая, рисках при выращивании лесных культур в течение длительных периодов и неопределенность на рынке. Это также означает, что леса могут изменяться лишь медленно в ответ на изменение экономических и природных условий.
- лесное хозяйство обычно сопряжено с очень высокими капитальными и эксплуатационными расходами по сравнению с производством, поскольку медленные темпы роста лесов означают, что для поддержания скромного урожая необходимо вести большие лесные запасы. В результате в затратах на лесопромышленный комплекс часто преобладает бремя переноса земли и капитала с течением времени.
- леса, ценимые за промышленную древесину, являются одновременно производственным капиталом и продуктом. Этот факт отличает леса от других форм капитала и порождает особые аналитические проблемы при выборе наилучшего возраста для сбора урожая и при разработке налогов и нормативных актов.

– правительства часто играют жесткую роль в управлении лесами и их использовании. Отчасти потому, что лесопромышленный комплекс - длительный процесс, отчасти потому, что леса производят много товаров и услуг, которые не продаются на рынках, и отчасти потому, что заготовка древесины и интенсивное лесопользование часто имеют неблагоприятные побочные эффекты, правительства в различных странах обычно больше вовлечены в лесное хозяйство, чем в другие сектора экономики, благодаря государственной собственности, правила заготовки древесины и лесохозяйственной практики, налогообложение и субсидии.

Экономический выбор в области лесопользования ограничен биологическими возможностями ресурса [6,8]. Эти пределы и возможности для манипулирования ими являются предметом естествознания лесного хозяйства, или лесоводства. Лесоводство - это специализированная область биологии, точно так же, как экономика лесного хозяйства - специализированная область прикладной экономики. В то время как лесоводство занимается всеми вещами, которые могут быть сделаны для манипулирования структурой и ростом лесов, лесная экономика имеет дело с решениями и выбором в пределах этого диапазона возможностей, уделяя внимание их социальным, а не биологическим последствиям.

Таким образом, экономика лесного хозяйства связана не только с лесоводством, но и со всеми аспектами лесопользования и рынков лесных товаров – охраной, потреблением, развитием, заготовкой и использованием всего спектра товаров и услуг, связанных с лесами [9,10]. Естественная наука о лесном хозяйстве определяет пределы природных систем и диапазон выбора, доступный лесопользователям; этот диапазон обеспечивает рамки естественных ограничений, в рамках которых экономический анализ может помочь в выявлении социальных последствий альтернативных вариантов действий. Управление лесными ресурсами варьируется от разработки и реализации государственной политики до выполнения повседневных полевых задач. Общие политические цели определяются правительствами и советами директоров корпораций; как будут использоваться конкретные леса, обычно решают их частные или государственные владельцы; что касается детальных вопросов, то решения часто принимают лесники, суперинтенданты или бригадиры, нанятые владельцами.

Каким бы ни был уровень, процесс принятия решений можно рассматривать как включающий, по крайней мере, следующие этапы: (1) определение целей или задач, (2) определение альтернативных возможных средств достижения этих целей, (3) оценку альтернатив, (4) выбор предпочтительной альтернативы, и (5) выполнение решения. На практике принятие решений редко следует упорядоченной последовательности, подразумеваемой этим списком шагов. Цели вовлеченных сторон часто неясны или противоречивы, их мотивы могут варьироваться от личных интересов до альтруизма, а их временная перспектива может варьироваться от ближайшего до отдаленного будущего.

Процессы исследования и оценки часто выявляют новую информацию, которая заставляет вовлеченных лиц менять позиции и менять альянсы. В результате этого продолжающегося процесса принятие решений часто выглядит запутанным и неупорядоченным, особенно в вопросах государственной политики. Тем не менее, для понимания процесса принятия решений полезно идентифицировать эти отдельные компоненты процесса.

Поскольку комплексная роль леса в природе и хозяйственной деятельности людей неопределима, поэтому для исследования его места в экономике целесообразно разграничивать понятие о лесе как источнике природных ресурсов и особой экологической системе. Такое разграничение позволит осуществлять его стоимостную оценку, абстрагируясь в определенной степени от неограниченных и неопределимых полезных свойств, в основе которой будет положено наличие именно лесных ресурсов, контролируемых предприятиями лесного хозяйства, воплощать экономические выгоды и которые могут быть определены в количественных, качественных и стоимостных измерителях. Такая оценка обеспечит информацией анализ выгод от использования лесных ресурсов и их участия в формировании национального богатства. Это может быть реализовано только при наличии их достоверного бухгалтерского учета в составе имущества лесохозяйственных предприятий.

Список литературы

1. Бочаров Е.П. Расчет экономического оптимума качества окружающей природной среды // Экономика и математические методы. – 1988 – Т. 24. Вып. 3. – С. 553-554.
2. Гарбузова, Т. Г. Система экологической биобезопасности как важный элемент реализации концепции устойчивого развития / Т. Г. Гарбузова // Экология и здоровье человека: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, памяти профессора Ю.Д. Жилова, Москва, 28 февраля – 01 2022 года / Отв. редактор Ю.П. Молоканова. – Москва: Московский государственный областной университет, 2022. – С. 113-115.
3. Гарбузова, Т. Г. Устойчивое управление лесами как действенный инструмент сохранения лесного биоразнообразия / Т. Г. Гарбузова // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы третьей международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 23–24 мая 2018 года / Под редакцией В.М. Гедьо. Том 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2018. – С. 270-273.
4. Лапицкая О.В. Эколого-экономические основы определения спелости леса: автореф. дисс. ... к.э.н.. -Минск, 2001. – 20 с.
5. Совершенствование и развитие методов учета и оценки природных ресурсов / В. И. Архипов, В. И. Березин, Н. Н. Чистяков [и др.] // Вестник МАНЭБ. – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 39-41.

6. Управление социально-экономическими системами: теория, методология, практика / В. А. Арасланова, Е. С. Березина, О. В. Бойченко [и др.]. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – 130 с.
7. Barbier, E.B.; Delacote, P.; Wolfersberger, J. The economic analysis of the forest transition: A review. *J. For. Econ.* 2017, 27, 10–17.
8. Choi, Y.; Lim, C.H.; Chung, H.I.; Kim, Y.; Cho, H.J.; Hwang, J.; Kraxner, F.; Biging, G.S.; Lee, W.K.; Chon, J.; et al. Forest management can mitigate negative impacts of climate and land-use change on plant biodiversity: Insights from the Republic of Korea. *J. Environ. Manage.* 2021, 288, 112400.
9. Economic security and organizational culture: Theoretical approaches and categorical relationship / A. Y. Mamychev, E. A. Sulimova, N. V. Yakovenko [et al.] // *International Review of Management and Marketing*. – 2016. – Vol. 6, No. 1. – P. 153-158.
10. Xie, M.; Irfan, M.; Razzaq, A.; Dagar, V. Forest and mineral volatility and economic performance: Evidence from frequency domain causality approach for global data. *Resour. Policy* 2022, 76, 102685.

References

1. Bocharov.P. Calculation of the economic optimum of the quality of the accompanying natural environment // *Economics and mathematical methods*. - 1988. 24. Issue 3. – Pp. 553-554.
2. Garbuzova, T. Year. Environmental biosafety system as an important element of the implementation of sustainable development concepts / T. Year. Garbuzova // *Ecology and human health: Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, in memory of Professor Yu.D. Zhilov, Moscow, February 28-01, 2022 / Editor-in-chief Yu.P. Molokanova*. – Moscow: Moscow State Regional University, 2022. – pp. 113-115.
3. Garbuzova, T. Year. Sustainable forest management as an effective tool for the conservation of forest biodiversity / T. Year. Garbuzova // *Forests of Russia: Politics, Industry, Science, education: Materials of the Third International Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, May 23-24, 2018 / edited by V.M. Gede. Volume 2*. – St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, 2018. - pp. 270-273.
4. Lapitskaya O.V. Ecological and economic foundations of determining the ripeness of the forest: abstract. diss. ... K.E.N. Minsk, 2001. - 20 P.
5. Improvement of methodological accounting and assessment of natural resources. I. Arkhipov, V. I. Berezin, N. N. Chistyakov (et al.)// *Gazeta MANEB*. - 2004. - Ti. 9, No. 2. – pp. 39-41.
6. Management of socio-economic systems: theory, methodology, practice / V. A. Araslanova, E. S. Berezina, O. V. Boychenko [et al.]. – Пенза: "Science and Education" (IP Gulyaev G.Yu.), 2017. – 130 p.
7. Barbier, E.B.; Delacote, P.; Wolfersberger, J. The economic analysis of the forest transition: A review. *J. For. Econ.* 2017, 27, 10–17.

8. Choi, Y.; Lim, C.H.; Chung, H.I.; Kim, Y.; Cho, H.J.; Hwang, J.; Kraxner, F.; Biging, G.S.; Lee, W.K.; Chon, J.; et al. Forest management can mitigate negative impacts of climate and land-use change on plant biodiversity: Insights from the Republic of Korea. *J. Environ. Manage.* 2021, 288, 112400.
9. Economic security and organizational culture: Theoretical approaches and categorical relationship / A. Y. Mamychev, E. A. Sulimova, N. V. Yakovenko [et al.] // *International Review of Management and Marketing*. – 2016. – Vol. 6, No. 1. – P. 153-158.
10. Xie, M.; Irfan, M.; Razzaq, A.; Dagar, V. Forest and mineral volatility and economic performance: Evidence from frequency domain causality approach for global data. *Resour. Policy* 2022, 76, 102685.

Краскова А.Н.,
филиал ФГБУ «Рослесинфорг»
«Прибайкалеспроект»

Лесоустройство в системе лесного планирования: препятствия в реализации мероприятий и пути решения

Аннотация. Лесное планирование выступает приоритетным подходом государственной политики.

В свою очередь, лесоустройство определяется в качестве основного инструмента, позволяющего получить актуальную информацию о состоянии лесов, что первостепенно для осуществления лесного планирования.

Реформирование области лесоустройства привело к сосредоточению полномочий по проведению лесоустроительных мероприятий на федеральном уровне, выполнение которых обеспечивается силами федерального государственного учреждения, а также к внедрению плановой системы деятельности, включению в систему документов плана проведения лесоустройства.

Между тем, учитывая объем подлежащих выполнению лесоустроительных работ в совокупности с финансовыми ограничениями, представляется целесообразным развитие государственно-частного партнерства в указанной сфере. Одновременно в статье рассмотрены риски и препятствия в указанной области, затрудняющие достижение поставленных государственно-значимых задач в области лесоустройства; представлены предложения, направленные на совершенствование системы лесоустройства, увеличение выполнения его объемов, в том числе, посредством включения в план проведения работ территорий, не входящих в зоны интенсивного освоения.

Ключевые слова: лесное планирование; лесоустройство; план проведения лесоустройства, государственное управление лесами.

Kraskova A.N.,
branch of the Federal State Budgetary Institution "Roslesinforг"
"Pribaikallesproekt"

Forest management in the forest planning system: obstacles in the implementation of measures and solutions

Abstract. Forest planning is a priority approach of state policy.

In turn, forest management is defined as the main tool for obtaining up-to-date information about the state of forests, which is paramount for the implementation of forest planning.

The reform of the forest management area has led to the concentration of powers to carry out forest management measures at the federal level, the implementation of which is provided by the federal state institution, as well as to the introduction of a planned system of activities, the inclusion in the system of documents of the forest management plan.

Meanwhile, taking into account the volume of forest management work to be carried out in conjunction with financial constraints, it seems appropriate to develop public-private partnership in this area. At the same time, the article examines the risks and obstacles in this area that make it difficult to achieve the set state-significant tasks in the field of forest management; presents proposals aimed at improving the system of forest management, increasing the implementation of its volumes, including by including territories not included in the intensive development zones in the work plan.

Keywords: forest planning; forest plan; forest management; forest management plan, state forest management.

Введение

Значительную площадь Российской Федерации занимают леса. Обладая особенностью, выражающейся в возможности их возобновления, они выступают одним из значимых факторов социально-экономического развития государства.

С 2018 года уполномоченными органами проведена масштабная работа, направленная на совершенствование правового регулирования в рассматриваемой отрасли, реформирование отдельных направлений, в том числе в области лесоустройства, а также реализацию основных принципов лесного законодательства.

Между тем, ряд направлений в рассматриваемой области нуждается в дополнительной проработке в целях совершенствования деятельности в сфере лесоустройства.

Результаты исследования

Стоит отметить, что планирование в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов (лесное планирование) является основой освоения лесов и направлено на обеспечение устойчивого развития территорий*.

В научных трудах также отмечается об осуществлении в настоящее время перехода лесной отрасли на модель ведения лесного хозяйства, основанную на принципах устойчивого развития и управления лесами (3, с. 515).

Именно устойчивое управление лесами является стратегически важной задачей.

Однако для рационального управления в указанной сфере необходимо располагать полной, всесторонней и актуальной информацией о состоянии лесов (как количественных, так и качественных характеристиках лесов, их

* Лесной кодекс Российской Федерации : Федер. закон от 29 янв. 1997 г. № 22-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 1997. № 5. Ст. 610.

территориальном расположении). Лесоустройство позволяет получить указанные сведения, которые отражаются в лесоустроительной документации.

О взаимосвязи лесоустройства и лесоправления указывалось в начале XX века в трудах профессора М.М. Орлова, по мнению которого, «лесоустройство без лесоправления мертво, а лесоправление без лесоустройства слепо» (2, 480).

Лесоустройство, выступая важной составляющей деятельности в области лесного хозяйства, является инструментом, позволяющим собственнику лесных насаждений - Российской Федерации, обеспечить формирование требуемой информации, на основе которой осуществляется планирование дальнейшей деятельности в рассматриваемой области.

Учитывая значительный объем внесенных изменений в лесное законодательство, на сегодняшний день одним из результатов является не только передача полномочий в области лесоустройства на федеральный уровень, но и делегирование выполнения указанного вида работ Федеральному государственному бюджетному учреждению «Рослесинфорг».

Одновременно в систему документов планирования с 2021 года внедрен план проведения лесоустройства, содержанием которого определяются объекты лесоустройства, очередность проведения и объемы лесоустройства.

Стоит отметить, что Лесной кодекс РФ в качестве документа лесного планирования выделяет исключительно лесной план субъекта. Между тем, представляется возможным отнесение плана проведения лесоустройства также к категории документа лесного планирования.

Примечательно, что с вступлением в силу отдельных изменений, внесенных в Лесной кодекс РФ в 2021 году, лесоустроительная документация законодательно определена в качестве основы лесного плана субъекта РФ, наряду со сведениями государственного лесного реестра, документами территориального планирования, материалами государственной инвентаризации лесов. До внесения указанных изменений Лесной кодекс РФ не определял статус лесоустроительной документации.

Возвращаясь к новому документу в системе документов планирования, стоит отметить, что первый план проведения лесоустройства был разработан на 2022 год (утвержден в феврале 2022 года)*. Несмотря на возможность разработки плана проведения лесоустройства на период до 10 лет, между тем, разработка первого плана произведена только на однолетний период.

План проведения лесоустройства, утвержденный в декабре 2022 года, уже предусматривает двухгодичный период планирования в области лесоустройства (2023, 2024 гг.)**.

* Об утверждении плана проведения лесоустройства : Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 22 фев. 2022 года № 76 // Официальный сайт Федерального агентства лесного хозяйства: <https://rosleshoz.gov.ru/documents/rosleshoz> (дата обращения: 10.07.2023).

** Об утверждении плана проведения лесоустройства на 2023-2024 годы : Приказ Федерального агентства лесного хозяйства № 1024 от 31 дек. 2022 года // Официальный сайт Федерального агентства лесного хозяйства: <https://rosleshoz.gov.ru/documents/rosleshoz> (дата обращения: 10.07.2023).

Применительно к территории лесного фонда государства потребность в проведении лесоустройства определена на площади в 300 млн га*. Принимая во внимание необходимость поддержания в актуальном состоянии материалов лесоустройства, возникает потребность в ежегодном проведении указанного вида работ на территории, не менее 30 млн га.

Согласно данным Счетной палаты финансирование мероприятий по лесоустройству за период 2016-2019 гг. составило 6,3 млрд руб., в результате работы были выполнены только на 116,2 млн га, что составляет 10 % от площади земель лесного фонда. Одновременно отмечена недостаточность средств федерального бюджета, в результате чего фактически финансирование указанных мероприятий осуществлялось за счет источников, не предусмотренных бюджетным законодательством (1, с. 9).

Общий объем работ по лесоустройству (таксация лесов, проектирование мероприятий, лесов, особо защитных участков леса, а также лесничеств), запланированный к проведению в 2022 – 2024 гг. составляет более 300 млн. га.

Представляется целесообразным более подробно рассмотреть вопрос, касающийся планируемых лесоустроительных работ в части таксации лесов.

В табл. 1 представлены данные относительно запланированных планами проведения лесоустройства объемов работ в период 2022-2024 гг., источником финансирования которых является федеральный бюджет.

Таблица 1

Объемы работ по лесоустройству (в части таксации лесов), запланированные к выполнению в период 2022 г. - 2024 гг.

Год проведения работ	Площадь выполнения работ (млн. га)	Этапы проведения работ	
		Подготовительный (млн. га)	Полевой, камеральный (млн. га)
2022	38,15	35,66	2,49
2023	24,9	7,95	16,95
2024	27,86	12,75	15,11

В результате сравнения значений запланированных показателей можно отметить следующее.

Площадь, на которой запланировано выполнение подготовительных работ отлична от площади проведения последующих этапов таксации.

К примеру, при проведении подготовительных работ в 2022 году на площади 35,66 млн га проведение полевого и камерального этапов работ в 2023 году запланировано только на площади 16,95 млн га.

* О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и статьи 14 и 16 Федерального закона «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» : Пояснительная записка к проекту Федерального закона № 1147176-7. URL: <https://sozd.duma.gov.ru> (дата обращения 18.03.2022).

В свою очередь, на территории Иркутской области в 2023 году запланировано проведение подготовительного этапа работ в Усольском лесничестве, между тем, территория данного лесничества не включена в план проведения полевого и камерального этапов работ на 2024 год.

Учитывая непрерывность всего цикла проведения лесоустроительных работ, представляется важным и необходимым выполнение необходимого комплекса работ на землях лесного фонда.

Стоит также отметить, что финансовые ограничения не позволяют провести мероприятия на большей площади. Между тем, законодатель допускает возможность проведения мероприятий по лесоустройству за счет заинтересованных лиц (в случае отсутствия указанных территорий в плане проведения лесоустройства), к числу которых можно отнести арендаторов лесных участков.

Ранее полномочия по проведению лесоустройства были делегированы (в числе переданных) субъектам Российской Федерации, однако работа в указанном направлении не была надлежащим образом организована, что подтверждается, в том числе решениями судов об обязанности уполномоченных органов провести мероприятия по лесоустройству на соответствующих территориях*.

До внесения изменений в сфере проведения лесоустройства арендаторы лесных участков активно инициировали заключение соответствующих договоров (на выполнение работ по таксации лесов, проектированию мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов (далее – работы по таксации и проектированию)) для проведения лесоустройства на соответствующей территории.

В настоящее время активность арендаторов лесных участков по заключению договоров на выполнение работ по лесоустройству снизилась.

Представляется, что в рассматриваемом случае возникает возможность достижения общей цели в области лесоустройства на основе взаимодействия государства и сектора лиц, осуществляющих предпринимательскую деятельность.

Учитывая отнесение полномочий по проведению лесоустройства к числу полномочий Российской Федерации, а, соответственно, необходимость выделения средств федерального бюджета, привлечение сектора предпринимателей позволит снизить финансовые затраты на проведение указанного вида работ, а также произвести работы на большей площади лесного фонда.

Кроме того, инициатива участия предпринимателей в деятельности по лесоустройству, может быть положена в основу планирования указанного вида работ и формирования плана проведения лесоустройства.

* Решение Ломоносовского районного суда Ленинградской области от 11.08.2020 г. по делу № 2а-943/2020 (xn--90afdbaav0bd1afy6eub5d.xn--p1ai); Решение Октябрьского районного суда г. Ижевска решение от 02.11.2017 г. по делу 2-6384/2017 (sud-praktika.ru); официальный сайт прокуратуры Сахалинской области (sakhalinprokur.ru)

Принимая во внимание возможную продолжительность периода проведения лесоустройства до 36 месяцев, при волеизъявлении арендатора на финансирование части стоимости работ по таксации лесов, проектированию мероприятий в области сохранения лесов, представляется возможным заключение предварительного договора с арендатором лесного участка, к примеру, на проведение полевого и камерального этапа работ. Заключение указанного договора будет являться основанием для включения в план проведения лесоустройства указанной территории для проведения подготовительного этапа работ.

Предлагаемой мерой поощрения участия арендаторов лесных участков в деятельности по лесоустройству (работы по таксации и проектированию) представляется введение понижающего коэффициента, применимого при расчете арендной платы, к примеру, на период проведения лесоустроительных работ – работ по таксации и проектированию мероприятий либо более продолжительный период времени, включающий период после окончания лесоустроительных работ.

Представляется, что данный подход позволит разрешить общие задачи со стороны государства и субъектов предпринимательской деятельности на взаимовыгодных условиях.

В научной литературе отмечается необходимость государству, как собственнику лесов, предпринимать меры по созданию более привлекательных условий для функционирования субъектов предпринимательской деятельности в лесопромышленном комплексе и ведения ими лесного хозяйства.

Отмечается, что существующая система арендных отношений уже свидетельствует о наличии государственно-частного партнерства, выраженного в существующем порядке предоставления государством, как собственником земель лесного фонда, а также лесных ресурсов, права арендатору лесного участка осуществлять использование лесов с одновременным взиманием платы, а также возложением определенного объема обязанностей в сфере сохранения лесов.

При этом дальнейшее развитие государственно-частного партнерства повлечет создание более эффективных с экономической точки зрения отношений; позволит обеспечить разрешение общественно-значимых задач, а также извлечение прибыли в рамках предпринимательской деятельности.

Стоит также отметить «повышение статуса» лесоустроительной документации в связи с введением квалификационных требований к лицам, которыми осуществляется подготовка указанных документов.

Так, с 2025 года вводятся ограничения к составу лиц, имеющих право выполнять работы по лесоустройству. Право выполнения работ по лесоустройству предоставлено исключительно лицам, включенным в реестр по результатам аттестации, проведение которой будет производиться уполномоченным органом. При этом, лицу, необходимо соответствовать предъявляемым квалификационным требованиям.

Однако законодательно введены не только требования, предъявляемые к лицам, осуществляющим лесоустроительные работы, подготовку

лесоустроительной документации, но также и нормативы – площадь объектов лесоустройства в расчете на одного инженера-таксатора (техника-таксатора).

Стоит отметить высокие значения площадей применительно к одному работнику.

Представляется, что количество работников для выполнения работ применительно к площади объектов лесоустройства, определенных Приказом, несоизмеримы.

Исходя из утвержденных Министерством природных ресурсов и экологии РФ нормативов при проведении лесоустройства, к примеру, по третьему разряду таксации лесов, площадь объекта лесоустройства глазомерным способом равна 40 тыс. га, а при проведении способом рационального сочетания - определяется равной 150 тыс. га на одного работника*.

Учитывая ограниченный период полевого сезона, в течение которого выполняются работы, а также возможные неблагоприятные погодные условия в течение сезона достижение определенных нормативов не представляется возможным.

Еще одним важным вопросом при актуализации полученной по результатам лесоустроительных работ информации является соотнесение новых материалов лесоустройства с материалами, более старой давности.

Так, субъектами РФ осуществлялась работа по лесоустройству. В результате на территории одного субъекта либо одного лесничества имеются лесные участки, давность материалов лесоустройства в отношении которых различна. В связи с этим требуется проведение работы по соотнесению данных материалов, а, соответственно, разработка правового документа регламентирующего такой порядок работы, а также планирование финансовых затрат на указанную деятельность.

При разработке и принятии законопроектов в области лесоустройства указывалась необходимость его проведения в зоне интенсивного освоения лесов.

Между тем, представляется необходимым проведение лесоустройства не только в зоне интенсивного освоения лесов. К примеру, на территории Иркутской области при общей площади земель лесного фонда более 69 млн. га, площадь, не входящая в зону интенсивного освоения составляет около 33 млн. га.; площадь лесов, в отношении которых лесоустройство на территории региона не проводилось, составляет 26,6 тыс. га**.

Между тем, использование лесов в границах, не входящих в зону интенсивного освоения, осуществляется, соответственно, лесоустройство на данной территории также является необходимым. К примеру, на территории

* Об утверждении нормативов численности инженеров-таксаторов и (или) техников-таксаторов при выполнении работ по осуществлению мероприятий по лесоустройству : Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 14 окт. 2022 года № 686 // Официальный сайт опубликования правовых актов // <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 10.07.2023).

** Об утверждении лесного плана Иркутской области на 2019 - 2028 годы : Указ Губернатора Иркутской области от 29 мая 2019 № 112-уг // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 11.07.2023).

Катангского лесничества лесоустройство не проводилось на площади 9 796 тыс. га (общая площадь лесничества превышает 12 млн га)*.

Таким образом, планирование лесоустроительных работ необходимо не только в зоне интенсивного освоения, соответственно, ежегодный объем работ, изначально запланированный в объеме 30 млн га в год (при общей зоне интенсивного освоения – 300 млн га) должен быть увеличен с учетом потребности в проведении лесоустройства площади лесного фонда, не входящей в зону интенсивного освоения.

Заключение

Лесоустройство играет ключевую роль в системе лесного планирования, так как составляет его основу.

Стоит отметить, что правовое регулирование в области лесоустройства претерпело значительные изменения, однако до настоящего времени остается неурегулированным ряд вопросов, а также имеют место положения, реализация которых может быть затруднительной (выполнение запланированных объемов работ по лесоустройству, а также установленного норматива по таксации и проектированию мероприятий, актуализация лесоустроительной документации).

Представляется целесообразным развитие государственно-частного партнерства в области проведения лесоустройства в целях достижения значимых для общества и государства целей, пересмотр нормативов таксации и проектирования мероприятий в расчете на одного таксатора, а также реализация на плановой основе мероприятий по лесоустройству на территориях, не входящих в зону интенсивного освоения.

Список литературы

1. Отчет о результатах контрольного мероприятия «Проверка эффективности организации работ и расходования средств на проведение лесоустройства, выделенных из бюджетов бюджетной системы Российской Федерации и иных источников в 2015–2019 годах» // Счетная палата Российской Федерации : офиц. сайт. – URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/f1e/f1e5esa690699c189ed2eda14fff7413.pdf>.
2. Орлов М.М. Лесоправление как исполнение лесоправительного планирования / М.М. Орлов. – Москва : Лесная пром-сть, 2006. – 480 с.
3. Русецкая, Г. Д. Реализация концепции устойчивого развития в управлении лесным хозяйством / Г. Д. Русецкая // Известия Байкальского государственного университета. – 2022. – Т. 32, № 3. – С. 512-526. – DOI 10.17150/2500-2759.2022.32(3).512-526. – EDN MVQRJV.

* Об утверждении лесохозяйственных регламентов по лесничествам Иркутской области : Приказ Министерства лесного комплекса Иркутской области от 11 сен. 2018 г. № 73-мпр // Офиц. сайт министерства лесного комплекса Иркутской области. – URL: <https://irkobl.ru/sites/alh/documents/reglament/>.

References

1. Report on the results of the control event «Verification of the effectiveness of the organization of work and expenditure of funds for forest management allocated from the budgets of the budgetary system of the Russian Federation and other sources in 2015-2019» // Accounts Chamber of the Russian Federation : official website – URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/f1e/f1eeca690699c189ed2eda14fff7413.pdf>.
2. Orlov M.M. Forest management, as the execution of forest management planning. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 2006. 480 p
3. Rusetskaya G.D. Implementation of the Concept of Sustainable Development in Forest Management. Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University, 2022, vol. 32, no. 3, pp. 512–526. (In Russian). EDN: MVQRJV. DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(3).512-526

Лапицкая О.В.

*Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого, Республика Беларусь*

Экономическая спелость модальных древостоев Республики Беларусь

Аннотация. Показано история становления экономических подходов к определению спелости леса. Приведены основные современные положения для нахождения экономической спелости, которые заключаются в то, что возрастом экономической спелости является возраст древостоев определенной породы и уровня производительности, при котором достигается максимальная рентабельность лесовыращивания с учетом реализации древесины по таксовой стоимости. Нами при расчетах возраста экономической спелости использованы реальные затраты лесного хозяйства Беларуси для обеспечения лесовыращивания (лесовосстановление, рубки промежуточного пользования, рубки главного пользования, затраты на охрану и защиту леса). При оценке стоимости древесины применен рентный подход, т.е. древесина оценивалась на корню по действующим таксам. Вычисленные возрасты экономической спелости модальных древостоев Беларуси, т.е. тех, которые непосредственно поступают в рубку, для ели, осины и ольхи черной в основном ниже действующих возрастов рубки. В силу непостоянства показателей возрастов экономической спелости древостоев, их не используют для определения возрастов рубки в Беларуси. В перспективе при стабилизации соотношения цены на древесину и затрат на лесовыращивание, возрасты экономической спелости должны быть использованы для определения возрастов рубки.

Ключевые слова: возраст рубки, спелость леса, экономическая спелость леса, себестоимость лесовыращивания, рентабельность лесовыращивания, таксовая стоимость древесины, лесная рента.

Lapitskaya O. V.

*Sukhoi State Technical University of Gomel,
Republic of Belarus*

Economic maturity of modal stands of the Republic of Belarus

Abstract. The history of the formation of economic approaches to determining forest maturity is shown. The main modern provisions for finding economic maturity are given, which lie in the fact that the age of economic maturity is the age of forest stands of a certain species and the level of productivity at which the maximum

profitability of forest cultivation is achieved, taking into account the sale of wood at a tax cost. When calculating the age of economic maturity, we used the real costs of the forestry sector of Belarus to ensure forest growing (reforestation, intermediate felling, final felling, costs for forest conservation and protection). When assessing the cost of wood, the rental approach was applied, i.e. timber was valued on the vine according to the current rates. The calculated ages of economic maturity of modal forest stands in Belarus, i.e. for spruce, aspen and black alder, those that go directly into the felling are mainly below the current felling ages. Due to the variability of indicators of the economic maturity of forest stands, they are not used to determine the felling age in Belarus. In the future, when the ratio of wood price and forest growing costs stabilizes, economic maturity ages should be used to determine felling ages.

Keywords: felling age, forest maturity, economic forest maturity, cost of forest cultivation, profitability of forest cultivation, tax value of timber, forest rent.

Введение. Важным организационным моментом главного пользования являются возрасты и обороты рубки, базирующиеся на спелостях леса. Учет возрастов рубки и спелостей леса для проведения главного пользования начали применять уже в конце XVIII века, но в полную меру их стали использовать со середины XIX века. Вплоть до 20-х годов XX века в России для определения возрастов рубки за основу брали хозяйственную спелость. Эту спелость исчисляли по величине себестоимости и рентабельности выращивания древостоев. Соответственно, достаточно высокой была и цена древесины. Поэтому лесной доход России до 1917 года в 3 раза превышал затраты на ведение хозяйства (17, 22).

Начиная с конца 20-х годов прошлого века и до настоящего времени в Беларуси в основу определения возрастов рубки кладут техническую спелость леса. В условиях социалистического планового хозяйства спелости леса экономической природы считались неприемлемыми. Этот период и характеристика технической спелости достаточно описана в литературе и здесь в пояснениях не нуждается (4, 7).

Но исследованием экономической спелости ученые занялись уже во второй половине 50^х годов, когда появляются труды, призывающие к использованию в лесном хозяйстве закона стоимости, возврату к принципам непрерывности и постоянства пользования лесом (1, 19). Поскольку старая хозяйственная спелость считалась неприемлемой, то возникло понятие «экономическая спелость леса».

Потребовалось найти новые подходы к установлению спелостей. Они должны были иметь экономическую основу и соответствовать современному уровню развития лесохозяйственного производства, базирующегося на государственной собственности на леса и социалистическом способе производства. Таким видом спелости оказалась экономическая.

Впервые термин «экономическая спелость леса» сформулировал Ф.Т. Костюкович (10) как возраст достижения минимальной себестоимости выращивания 1 м³ древесины.

В 50-70-е годы прошлого века вопросы экономической спелости занимались известные советские ученые (2, 8, 19, 21, 23). Наиболее полно к концу прошлого века экономическая спелость леса нашла отражение в трудах Моисеева (13) и Янушко (24).

Трудами названных ученых спелость леса было определено и принято как возраст насаждений, при котором достигается максимальная рентабельность лесовыращивания. При этом Моисеев считал, что максимальная рентабельность лесовыращивания определяется с учетом стоимости заготовленных сортиментов, а Янушко ее оценивал по стоимости леса на корню (13, 24).

Нами ранее (в конце прошлого века) определена экономическая спелость нормальных древостоев Беларуси (11, 12). За истекшие 20-25 лет условия, определяющие условия рентабельности лесовыращивания существенно изменились. Значительно возросла стоимость древесины, и многократно увеличились затраты на лесовыращивание. Поэтому в современных условиях работы современного лесного хозяйства Беларуси потребовалось обосновать и рассчитать экономическую спелость древостоев, которые должны поступать в главную рубку, чему и посвящена настоящая статья.

Материалы и методика исследований. Материалом для наших исследований явились действующие таблицы хода роста древостоев Беларуси, а также открытые ведомственные материалы Министерства лесного хозяйства, показывающие себестоимость лесовыращивания и литературные источники (4, 9, 16, 20).

Методика исследования включала в себя обычные методы экономического анализа, математическое моделирование и элементы системного анализа (3, 6, 14, 24). Все денежные расчеты для вычисления себестоимости, рентабельности, стоимости древесины выполнены в белорусских рублях (на момент расчетов 1 доллар США составлял 2.8 белорусских рубля).

Обсуждение результатов. При установлении возрастов экономической спелости в первую очередь требуется определить, что является продукцией лесного хозяйства. Лесное хозяйство Беларуси в настоящее время имеет комплексный характер. Это значит, что наряду с лесовыращиванием лесхозы осуществляют коммерческую деятельность. Последнее включает рубки главного пользования, переработка древесины, оказание различных услуг и т.д.

Коммерческая деятельность лесхозов Беларуси составляет свыше 70 % финансовых поступлений. Доходы от лесохозяйственной деятельности составляют менее 30 %. Сюда входит продажа древесины от рубок ухода в молодняках и поступления от реализации леса по таксовой стоимости. Последнее представляет собой лесную ренту как абсолютную, так и дифференциальную.

Продажа древесины на корню связана с общественным разделением труда, когда лесозаготовки осуществляются не лесхозами, а лесопользователями как подрядчиками, поставляющими древесину различным отраслям народного хозяйства. Отсюда вытекает, что та древесина на корню, которая находит сбыт, является для лесного хозяйства его продукцией. Ее реализация происходит

обычно на нижнем пределе компенсирующих затрат на лесовыращивание, т.е. по таксам. При реализации по верхнему пределу (на аукционах), лесовладелец получает и чистый доход или ренту (14).

Лесное хозяйство имеет целью воспроизводство ресурсов и услуг леса для удовлетворения в них народного хозяйства и населения. При этом продукция, как предмет потребления, выступает в рамках воспроизводства как изъятие из леса ресурсы, находящие сбыт на рынке. В рамках общественного разделения труда такой продукцией для лесного хозяйства выступает древесина на корню и другие ресурсы, находящиеся в местах их произрастания и имеющие сбыт (24).

Но главное, на что мы обратим внимание при новом исследовании экономической спелости, исходит из понимания необходимости при организации и финансировании лесохозяйственной деятельности – принять использование рентного подхода. Это обеспечивает глубокое научное обоснование цены выращенной древесины и ее относительно большую устойчивость против постоянно меняющейся рыночной стоимости древесины.

Для расчета экономической спелости нами разработан соответствующий алгоритм, который включает в себя следующие элементы:

- Определение себестоимости выращивания 1 га древостоя в разном возрасте. Для этой позиции необходимо иметь сведения по себестоимости создания 1 га лесных насаждений, по стоимости ухода за лесом (осветление, прочистки, прореживания, проходные и санитарные рубки), а также учесть затраты на охрану и защиту леса до возраста спелости.
- Денежная оценка древесины на корню в разном возрасте.
- Определение минимума себестоимости выращивания 1 м³ древесины в зависимости от возраста древостоя.
- Определение чистого дохода при разном возрасте древостоя при продаже леса на корню.
- Нахождение максимума чистого дохода от продажи древесины на корню на 1 га при разном возрасте насаждения.
- Определение рентабельности лесовыращивания (P_a) в возрасте «а», используя таксовую стоимость древесины. $P_a = \frac{QW - C_{лва}}{C_{лва}} \cdot 100\%$, где Q – качественная цифра древостоя в возрасте «а», W – запас древостоя в возрасте «а», $C_{лва}$ – себестоимость выращивания 1 га древостоя до возраста «а».
- На основе полученных данных определяем экономическую спелость. $P_a = f(a) \rightarrow \max$.

В соответствии с принятым алгоритмом, используя имеющиеся материалы Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, провели соответствующие расчеты затрат на выращивание 1 га насаждения в разном возрасте. При этом мы учли, что возобновление сосны, ели и дуба в Беларуси идет в основном искусственным путем, а березы, осины и ольхи черной – естественным.

Показатели себестоимости лесовыращивания рассчитаны Минлесхозом Республики Беларусь в 2021 году (Малашевич И.И.), имеются в открытом

доступе и легли в основу наших расчетов для определения возрастов экономической спелости. Данные расчеты громоздки и здесь опускаются для сокращения. Вычисленные возрасты экономической спелости для основных древесных пород модальных древостоев приведены в таблице.

Для сокращения расчетные данные показаны для древостоев сосны. Для других основных древесных пород Беларуси (ели, дуба, березы, осины и ольхи черной) методика расчетов аналогична. Поскольку цифровые величины различаются по каждой породе, то таблицы с расчетами для сокращения опускаются.

Расчет экономической спелости проведем методом упрощенного имитационного моделирования. Учитывая, что полученные разными авторами возрасты экономической спелости лежали в пределах от 70 до 90 лет, то для примера приведем расчет себестоимости лесовыращивания сосновых древостоев от 60 до 100 лет. Затраты на лесовыращивание, которые включают лесовосстановительные работы и рубки ухода проводятся до возраста 60 лет. Поскольку у нас для расчетов экономической спелости приняты возрасты от 60 лет, то все затраты до этого возраста будут одинаковые, а затраты на охрану и защиту леса проводят до момента рубки и рассчитываются ежегодно. В таблице 1 приведены затраты на лесовыращивание в зависимости от разного возраста рубки с учетом высказанных положений.

Таблица 1. Затраты на лесовыращивание 1 га лесных насаждений сосны до возраста спелости, бел.рубли

Перечень лесохозяйственных работ, выполняемых в период выращивания 1 га леса до возраста спелости	Возрасты спелости								
	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. Затраты на лесовосстановление и проведение рубок ухода до 60 лет	5608	5608	5608	5608	5608	5608	5608	5608	5608
2. Санитарная рубка	147	147	147	294	294	294	294	294	294
3. Затраты на охрану и защиту леса, лесоустройство и другие мероприятия	4057	4395	4733	5071	5410	5748	6086	6424	6762
ИТОГО на 1 га:	9812	10150	10488	10973	11312	11650	11988	12326	12664

Из таблицы 1 видно, что с увеличением возраста рубки затраты на лесовыращивание повышаются. Одновременно возрастают запасы наличных

древостоев и их стоимость. Эти показатели нам надо иметь для расчета экономической спелости.

Запасы сосновых древостоев при разных возрастах спелости взяли из нормативных таблиц хода роста модальных древостоев Беларуси (16). Средняя относительная полнота модальных древостоев определена с учетом сведений, приведенных в Лесном Кадастре за 2021 год (9). В силу очевидности расчетов, здесь мы их опускаем для сокращения.

Для оценки древесины на корню ежегодно Правительством республики устанавливаются таксы на древесину в зависимости от породы, категории крупности деловой древесины и разряда такс. Эти таксы используются лесхозами для расчетов перечисления в бюджет части денег, полученных от продажи леса на корню. В нашей работе взяты лесные таксы, установленные на 2022 год (20).

Используя товарные таблицы для древостоев сосны (1 класс товарности), средние диаметры и средние высоты модальных сосновых древостоев в зависимости от класса бонитета и названные таксовые цены, рассчитали стоимость древесины, полученные при разных возрастах рубки. К этой сумме добавим доход, полученный от реализации древесины, полученной от рубок ухода и санитарных рубок (по материалам Минлесхоза). Расчеты, которые при этом проводились, очевидны, и опускаются для сокращения. На основании этих расчетов вычисляем экономическую спелость. Для этого определяем рентабельность лесовыращивания по формуле $P = \frac{(П-З)}{З} \times 100$, где $П$ – прибыль от реализации древесины до момента рубки; $З$ – затраты на лесовыращивание до момента рубки; P – рентабельность лесовыращивания, %

Рентабельность лесовыращивания сосновых древостоев при разных возрастах рубки для исследованных классов бонитета приведены в таблице 2.

Таблица 2. Рентабельность лесовыращивания сосновых древостоев при разных возрастах рубки

Показатели	Рентабельность лесовыращивания (%) в возрасте спелости								
	60	65	70	75	80	85	0	5	00
сосна I ^a бонитет	19	21	22	21	45	48	2	8	4
сосна I бонитет	-1	-7	2	3	26	28	3	2	9
сосна II бонитет	-21	-19	-30	-17	3	8			1
сосна III бонитет	-36	-36	-34	-34	-18	-13	16	18	21

Для других основных древесных пород Беларуси (ели, дуба, березы, осины и ольхи черной) величины затрат изменены в соответствии с технологией

выращивания этих древесных пород и стоимостью их древесины в разном возрасте.

Экономическая спелость леса нами рассматривается как тот возраст насаждения, при котором достигается максимальная рентабельность лесовыращивания. Максимальную рентабельность лесовыращивания можно определить, построив модель изменения рентабельности лесовыращивания в зависимости от возраста. Затем, используя стандартные процедуры математического анализа, вычислить максимумы для этой модели. При этом модель изменения рентабельности лесовыращивания описывается уравнениями полиномов 3 и 4 степени. Эта стандартная процедура сводится к нахождению первой производной модели, приравняванию ее к нулю и вычислению корней полученного уравнения (15). Соответствующие расчеты достаточно просты и здесь опускаются для сокращения.

В нашем случае рентабельность лесовыращивания для некоторых бонитетов и возрастов рубки оказывается отрицательной. Это явление известно давно. Оценка древесины по таксам всегда приводила к выводу, что лесовыращивание у нас убыточно (4, 5). На самом деле лесовыращивание не может быть убыточным, так как лесопромышленный комплекс получает большие прибыли от реализации заготовленной и переработанной древесины. В настоящее время повышение прибыльности лесовыращивания заключается в том, что по таксовой стоимости древесины продается минимальное количество. В основном лес на корню реализуют через товарно-сырьевую биржу и на аукционах. В этом случае таксовая стоимость возрастает в 2-3 раза и даже более, и выращивание леса на корню становится прибыльным.

При расчете экономической спелости мы использовали таксовую стоимость, поскольку биржевые и аукционные цены весьма подвижны. Вычисленные нами возрасты экономической спелости модальных древостоев приведены в таблице 3.

Таблица 3. Возрасты экономической спелости для основных лесообразующих пород Беларуси

Древесная порода	Возраст экономической спелости по классам бонитета			
	I ^a	I	II	III
Сосна	83	85	87	97
Ель	67	71	82	–
Дуб	–	95	106	115
Береза	72	75	78	80
Осина	33	35	37	–
Ольха черная	30	32	35	35

Из таблицы 3 следует, что экономическая спелость модальных лесных насаждений, вычисленная на основе показателей лесной ренты, которая выражается в таксовой стоимости, весьма неоднородна.

Экономическая спелость разных древесных пород с действующими возрастными рубками в эксплуатационных лесах совпадает лишь частично (18). Для сосны и березы вычисленные нами возрасты экономической спелости в

основном соответствуют действующим возрастам рубки. Для ели, осины и ольхи черной возрасты экономической спелости в основном ниже действующих возрастов рубки.

Характерной особенностью возрастов экономической спелости является их постоянные изменения. В таблице 4 приведены сравнения экономической спелости для модальных древостоев разных пород, полученных разными авторами в разное время с нашими данными 2022 года.

Таблица 4 – Экономическая спелость леса по данным разных авторов

Автор	Год	Возраст экономической спелости, лет, для различных пород и классов бонитета			
		I ^a	I	II	III
Сосна					
Янушко А.Д.	1993	67	70	75	84
Янушко А.Д.	2004	75	85	90	95
Лапицкая О.В.	2000	70	75	90	100
Лапицкая О.В.	2022	83	85	87	97
Ель					
Янушко А.Д.	1993	76	80	84	100
Янушко А.Д.	2004	75	85	90	95
Лапицкая О.В.	2000	80	85	90	110
Лапицкая О.В.	2022	67	71	82	–
Дуб					
Янушко А.Д.	1993	–	80	96	112
Янушко А.Д.	2004	–	90	95	100
Лапицкая О.В.	2000	–	110	120	130
Лапицкая О.В.	2022	–	95	106	115
Береза					
Янушко А.Д.	1993	40	42	43	44
Янушко А.Д.	2004	45	47	50	50
Лапицкая О.В.	2000	–	–	–	–
Лапицкая О.В.	2022	72	75	78	80
Осина					
Янушко А.Д.	1993	40	43	53	–
Янушко А.Д.	2004	45	50	56	–
Лапицкая О.В.	2000	–	–	–	–
Лапицкая О.В.	2022	33	35	37	–
Ольха черная					
Янушко А.Д.	1993	50	53	57	57
Янушко А.Д.	2004	53	55	60	60
Лапицкая О.В.	2000	–	–	–	–
Лапицкая О.В.	2022	30	32	35	35

Анализ таблицы 4 показывает, что из-за частого изменения стоимости древесины и величины затрат на лесовыращивание возрасты экономической спелости оказываются непостоянными по данным даже у одного и того же автора (11, 12, 23, 24). Возрасты рубки в силу длительного процесса лесовыращивания должны быть относительно стабильны хотя бы в течение половины оборота

рубки. Поскольку экономическая спелость леса пока не может обеспечить это условие для установления возрастов рубки, то при данных расчетах она не используется. В перспективе, если цена на древесину и затраты, а главное – их соотношение, станет более стабильным, то экономическая спелость как показатель для определения возраста рубки может быть использована.

Заключение. На основании изложенного приходим к следующим выводам.

1. В основу расчета экономической спелости лежит максимальная рентабельность лесовыращивания в сопоставлении с получаемой лесной рентой в разном возрасте.

2. Экономическая спелость леса, вычисленная в разные периоды за последние 30 лет, показывает ее непостоянство из-за изменений в стоимости древесины и величины затрат на лесовыращивание. Поэтому расчет экономической спелости необходимо повторять через каждые 20-30 лет.

3. В настоящее время для определения возрастов рубки в Беларуси возрасты экономической спелости не используются в силу их непостоянства. В перспективе при стабилизации соотношения цены на древесину и затрат на лесовыращивание, возрасты экономической спелости должны быть использованы для определения возрастов рубки.

Список литературы

1. Анучин Н П 1986 *Проблемы лесопользования* (Москва: Лесная промышленность)
2. Атрощенко О А, Янушко А Д 1988 Методы определения экономической спелости в нашей стране и за рубежом *Лесоведение и лесное хозяйство* 23 страницы 98-103
3. Атрощенко О А 2004 Моделирование роста леса и лесохозяйственных процессов (Минск: БГТУ)
4. Багинский В Ф, Есимчик Л Д 1996 *Лесопользование в Беларуси* (Минск: Беларуская навука)
5. Багинский В Ф, Зеленский В В, Лапицкая О В 2012 Лесные таксы: история и современное состояние *Известия ГГУ им. Ф.Скорины* 5 54-58
6. Багинский В Ф 2016 Применение системного анализа в лесном хозяйстве (Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины)
7. Багинский В Ф 2020 *Лесная таксация и лесоустройство* (Минск: РИПО)
8. Волков В Д 1985 Система методов оптимизации планов развития лесного хозяйства и лесопользования. Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук (Москва: МЛТИ)
9. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2021 года (Минск: Белгослес)
10. Костюкович Ф Т 1964 Экономическая спелость леса *Лесной журнал* 2 39-41
11. Лапицкая О В 2001 Методы определения экономической спелости леса *Проблемы лесоведения и лесоводства* 53 368-376

12. Лапицкая О В 2001 Эколого-экономические основы определения спелостей леса. Автореф. дис. ... канд.экон.наук (Минск: БГТУ)
13. Моисеев Н А 1999 Экономика лесного хозяйства (Москва: МГУЛ)
14. Моисеев Н А, Киселев Г М, Назаренко Е Б 2004 Экономика лесного хозяйства (Москва: МГУЛ)
15. Никитин К Е, Швиденко А Е 1978 Методы и техника обработки лесохозяйственной информации (Москва: Лесная промышленность)
16. Багинский В Ф 1984 Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР (Москва: Гослесхоз)
17. Орлов М М 1927 Лесоустройство т.1 (Ленинград: Гостехиздат)
18. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 06.12.2001 № 1765 «О возрасте рубок леса (лесных пород по рубкам главного пользования)» (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 04.11.2016 № 907). Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=C21600907>. Дата доступа 22.03.2023.
19. Судачков Е Я 1957 Спелость леса (Ленинград: Гослесбумиздат)
20. Таксовая стоимость на древесину основных лесных пород, отпускаемую на корню / Утверждена Советом Министров Республики Беларусь постановлением от 31 декабря 2021 г. № 783. Режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/pravitelstvo-uvelichilo-taksovuju-stoimost-na-drevesinu-na-kornju-477792-2022/>. Дата доступа 22.03.2023.
21. Трубников М М 1969 Экономическая спелость леса и организация лесохозяйственного производства (Москва: Лесная промышленность)
22. Шутов И В 2011 О золотом эквиваленте лесного дохода России Лесное хозяйство 1 12-14
23. Янушко А Д 1993 Лесные ресурсы Беларуси и основы их рационального использования и воспроизводства в условиях рыночной экономики. Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук (Гомель: ИЛАН РБ)
24. Янушко А Д 2004 Экономика лесного хозяйства (Минск: УП «ИВЦ Минфина»).

References

1. Anuchin N. P. 1986 Problems of forest management (Moscow: Forest industry)
2. Atroschenko O A, Yanushko A D 1988 Methods of determining economic ripeness in our country and abroad Forestry and forestry 23 pages 98-103
3. Atroschenko O A 2004 Modeling of forest growth and forestry processes (Minsk: BSTU)
4. Baginsky V F, Esimchik L D 1996 Forest management in Belarus (Minsk: Belorusskaya navuka)
5. Baginsky V F, Zelensky V V, Lapitskaya O V 2012 Forest dachshunds: history and current state Izvestiya GSU named after F.Skoriny 5 54-58
6. Baginsky In F 2016 Application of system analysis in Forestry (Gomel: F. Skorina State University)
7. Baginsky In F 2020 Forest taxation and forest management (Minsk: RIPO)

8. Volkov V D 1985 A system of methods for optimizing plans for the development of forestry and forest management. Autoref. dis. ... Doctor of Agricultural Sciences (Moscow: MLTI)
9. State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2021 (Minsk: Belgosles)
10. Kostyukovich F T 1964 Economic ripeness of the forest Forest Journal 2 39-41
11. Lapitskaya O In 2001 Methods of determining the economic ripeness of the forest Problems of forestry and forestry 53 368-376
12. Lapitskaya O In 2001 Ecological and economic foundations of determining the ripeness of the forest. Autoref. dis. ... candidate of Economics.Sciences (Minsk: BSTU)
13. Moiseev N. A. 1999 Economics of Forestry (Moscow: MGUL)
14. Moiseev N. A., Kiselev G M, Nazarenko E B 2004 Economics of forestry (Moscow: MGUL)
15. Nikitin K E, Shvidenko A E 1978 Methods and techniques of processing forestry information (Moscow: Forest industry)
16. Baginsky In F 1984 Normative materials for forest taxation of the Belarusian SSR (Moscow: Gosleskhoz)
17. Orlov M M 1927 Forest management vol.1 (Leningrad: Gostekhizdat)
18. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated 06.12.2001 No. 1765 "On the age of logging (forest species for main use logging)" (as amended by Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus No. 907 dated 04.11.2016). Access mode: <https://etalonline.by/document/?regnum = C21600907>. Access date 22.03.2023.
19. Sudachkov E Ya 1957 Ripeness of the forest (Leningrad: Goslesbumizdat)
20. The tax value for the wood of the main forest species released on the root / Approved by the Council of Ministers of the Republic of Belarus by Resolution No. 783 of December 31, 2021. Access mode: <https://www.belta.by/economics/view/pravitelstvo-uvlichilo-taksovuju-stoimost-na-drevesinu-na-kornju-477792-2022/>. Access date 22.03.2023.
21. Trubnikov M M 1969 Economic maturity of the forest and the organization of forestry production (Moscow: Forest industry)
22. Shutov And In 2011 About the gold equivalent of forest income of Russia Forestry 1 12-14
23. Yanushko A D 1993 Forest resources of Belarus and the basics of their rational use and reproduction in a market economy. Autoref. dis. ... Doctor of Agricultural Sciences (Gomel: ILAN RB)
24. Yanushko A D 2004 Forestry Economics (Minsk: UP "IVC of the Ministry of Finance")

Марчук И.И., Яковлев А.В.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Формы рационального использования лесных ресурсов

Аннотация. Рациональное использование лесных ресурсов имеет важное значение для развития экономики, удовлетворения социальных потребностей населения, сохранения и приумножения экологических функций лесов. В данной статье рассмотрены основные формы использования лесных ресурсов, способствующие сохранению качества окружающей природной среды и природных ресурсов, с одной стороны, и достижению такой национальной модели производства и потребления, при которой разработка природных ресурсов обеспечивает экономический рост и устойчивое развитие общества. Также в данной статье определены основные недостатки существующих форм рационального использования лесных ресурсов.

Ключевые слова: аренда, лесные участки, купля-продажа, рациональное использование, лесные ресурсы

Marchuk I.I., Yakovlev A.V.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Forms of rational use of forest resources

Abstract. Rational use of forest resources is important for economic development, meeting the social needs of the population, preserving and enhancing the ecological functions of forests. This article examines the main forms of use of forest resources that contribute to preserving the quality of the environment and natural resources, on the one hand, and achieving a national model of production and consumption in which the development of natural resources ensures economic growth and sustainable development of society. This article also identifies the main disadvantages of existing forms of rational use of forest resources.

Keywords: rent, forest areas, purchase and sale, rational use, forest resources

1. Введение

В течение долгого времени использование лесных ресурсов противопоставлялось охране лесов и рассматривалось с точки зрения изъятия из

лесных фитоценозов определенного количества спелой древесины. В настоящее время в связи с экологической обстановкой во всем мире лесопользование рассматривается как многосторонний процесс, в котором использование лесных ресурсов увязано с другими функциями лесных экосистем, поэтому здесь следует применить такое понятие, как «рациональное использование лесных ресурсов», которое подразумевает деятельность по использованию, а также охране, защите и воспроизводству лесных ресурсов [5]. Лесной кодекс РФ прописывает следующие формы использования земель лесного фонда (рис. 1) [1].



Рисунок 1 – Формы использования земель лесного фонда

Такие формы использования лесных ресурсов применяются и при рациональном лесопользовании, поэтому рассмотрим основные формы более подробно.

2. Результаты и их обсуждение

Физические и юридические лица имеют право пользования лесными участками, и согласно ЛК РФ, существуют следующие формы использования лесных земель: аренда лесных участков; постоянное (бессрочное) пользование; безвозмездное срочное пользование; купля-продажа лесных насаждений, которые имеют свои особенности при механизме передачи (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Сопоставление различных форм предоставления земель лесного фонда в пользование

Форма использования лесных ресурсов	Параметры сравнения		
	Вид использования лесов	Основание для заключения договора	Срок действия договора
Аренда	Все виды пользования, закрепленные в статье 25 ЛК РФ	Проведение торгов; без проведения торгов (регламентируется ч.3 ст. 73.1 и ч.1 ст. 74 ЛК); конкурс (в соответствии со статьей 80.1 ЛК РФ)	От 10 до 49 лет, (за исключением случаев, предусмотренных статьями 36, 38_1, 43-46, п. 3 ч. 3 статьи 73_1 ЛК РФ)

Постоянное (бессрочное) пользование	Регламентируется Земельным Кодексом РФ. Предоставляются для видов пользования исключительно: органам государственной власти и органам местного самоуправления; государственным и муниципальным учреждениям (бюджетным, казенным, автономным); казенным предприятиям; центрам исторического наследия президентов Российской Федерации, прекративших исполнение своих полномочий	Регламентируется Земельным Кодексом РФ. Решение органа власти о предоставлении лесного участка в бессрочное пользование и заявления, представленного органом власти или правообладателем земельного участка	Без срока
Безвозмездное (срочное) пользование	Для ведения сельского хозяйства гражданами для собственных нужд; для строительства, реконструкции и эксплуатации линейных объектов; для религиозной деятельности	Заключается без проведения торгов на основании заявления заинтересованного лица	От 1 года до 5 лет
Купля-продажа лесных насаждений	Осуществление заготовки древесины юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, относящимися к субъектам малого и среднего предпринимательства; осуществление заготовки древесины гражданами для собственных нужд	Заготовка гражданами древесины для собственных нужд осуществляется по договору без проведения аукцион; для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей через проведение торгов.	Не должен превышать 1 года

Рассмотрим основные две формы использования лесных ресурсов – это аренда и договор купли-продажи.

Аренда лесных участков является наиболее распространенной формой использования лесных ресурсов. По данным Рослесхоза в 2021 году фактически было заготовлено 225 млн. м³, при этом основная доля приходится на арендаторов (80%) [6]. Аренда лесных участков предоставляется как для одного вида пользования, так и для нескольких, предусмотренных Лесным кодексом РФ (рисунок 2) [3].

Аренда лесного участка, находящегося в государственной или муниципальной собственности регламентируется гражданским законодательством, Лесным кодексом, Земельным кодексом.

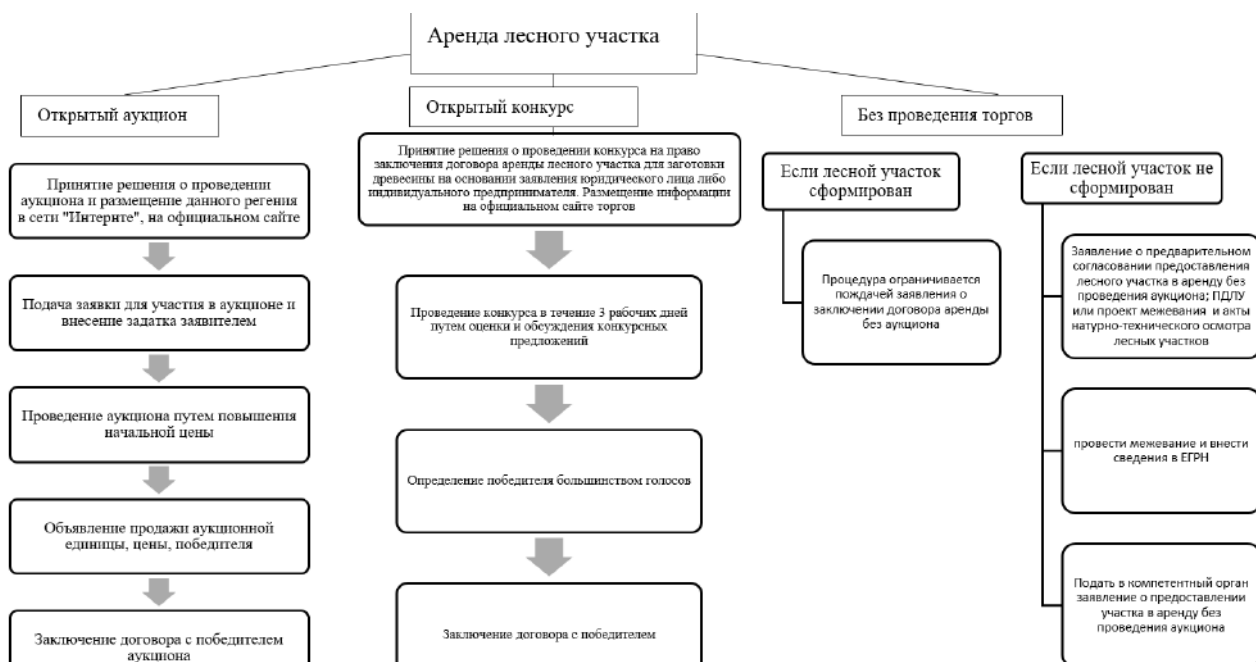


Рисунок 2 – Алгоритм проведения аренды лесного участка

Аренда является многогранным способом получения лесного участка в пользование, она может предоставляться с проведением и без проведения торгов, а также посредством конкурса и должна основываться на принципах непрерывного и рационального пользования лесными ресурсами [5]. Институт данной формы использования лесных ресурсов направлен на решение нескольких задач:

- ведение лесного хозяйства (лесовосстановление и другие лесохозяйственные работы, при надлежащем использовании земель, на которых произрастают леса);
- заготовка древесины и других видов лесопользования [5].

Аренда лесных участков предполагает улучшение финансового положения лесного казначейства (за счет арендной платы), а также рациональное использование лесных ресурсов, которое осуществляет арендатор (охрана и защита лесов, лесовосстановление и лесоразведение, формирование и сдача отчетов о проделанной работе, имеющие определенную форму и прописанных в документе «Памятка арендатору») [7].

Такая нагрузка, возложенная на лесопользователей, способствует снижению их мотивации пользования лесными ресурсами, ухудшению лесохозяйственных и лесовосстановительных мероприятий, увеличению задолженностей арендной платы (так на период 2022 года имеется сумма недоимки в федеральный бюджет в размере 1992725,52 тыс.руб.) [6].

Договор купли-продажи лесных насаждений заключается между органами государственной власти РФ (органами государственной власти субъектов РФ или органами местного самоуправления в пределах своих полномочий) и гражданами, юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, относящихся к субъектам малого и среднего предпринимательства, на основании

договора купли-продажи лесных насаждений в пределах одной лесосеки (рисунок 3) [1].

При купле-продаже лесных насаждений у покупателя не может возникать каких-либо прав на лесной участок, т.к. располагающиеся на нем лесные насаждения являются движимым имуществом.

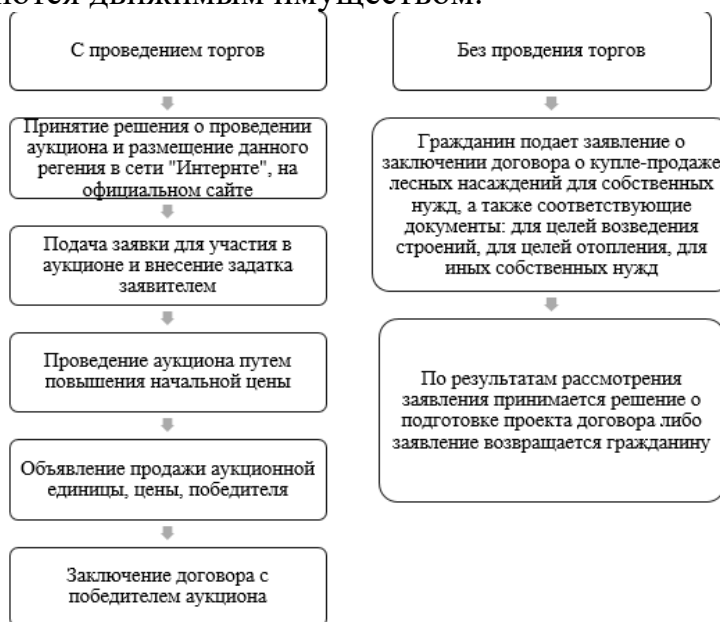


Рисунок 3 – Предоставление лесных ресурсов в пользование по договору купли-продажи

Особенно интересным остается вопрос заготовки древесины гражданами для собственных нужд. Так если, купля-продажа лесных насаждений, осуществляемая с проведением аукциона по продаже права на заключение такого договора, определяется типовым договором, в котором четко прописаны права и обязанности сторон, то купля-продажа лесных насаждений для собственных нужд такого договора не имеет. Тогда возникает несколько спорных моментов: теневой рынок и рациональное использование лесных ресурсов [4].

Правила проведения купли-продажи лесных насаждений для собственных нужд прописываются субъектами РФ, в зависимости от целевого назначения лесов. В таких правилах указывается норматив выдачи материалов (древесины), условия выдачи, минимальная плата и т.д. Четко прописывается и в Лесном кодексе, и в Уголовном кодексе, и в Законе «О порядке и нормативах заготовки гражданами древесины для собственных нужд», что такая древесина не может перепродаваться и использоваться для иных нужд. Тем не менее, регионы сталкиваются с проблемой контроля данного вида пользования, что приводит к попаданию древесины на теневой рынок [2].

Еще одной важной проблемой является отсутствие рационального использования лесных насаждений: не имеется установленного порядка приема и сдачи мест рубок по окончанию заготовки древесины гражданами для собственных нужд, отсутствие обязанностей покупателей заниматься

лесовосстановлением. Таким образом, данная форма пользования лесными ресурсами, должна быть пересмотрена с учетом устойчивого управления лесами.

4. Заключение

Рассмотрев различные формы пользования лесными ресурсами, стоит отметить, что каждая форма имеет свои особенности (осуществление полномочий использования лесных ресурсов на федеральном и региональном уровнях; способ предоставления в пользование лесных участков и их ресурсов; срок использования; оплата; нормативно-правовые акты, регулирующие взаимодействие сторон) и затрагивает область предпринимательской деятельности, область безвозмездного использования, льготную область для нужд граждан, но все это должно рассматриваться в контексте рационального использования лесных ресурсов, что в первую очередь, важно для малолесных регионов, где леса осуществляют защитную функцию, но при этом позволяют вести экономическую деятельность, представленную малым бизнесом.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000020-6-4.1.2 «Отбор хозяйственно ценных и устойчивых к изменению климата древесных культур, отличающихся высокой биологической продуктивностью и потенциалом секвестрации углерода с учетом региональных почвенно-климатических особенностей для реализации лесоклиматических проектов (FZUR-2023-0002)».

The study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000020-6-4.1.2 "Selection of economically valuable and resistant to climate change forest crops, characterized by high biological productivity and carbon sequestration potential, taking into account regional soil and climatic characteristics for the implementation of forest climate projects (FZUR-2023-0002)"

Список литературы

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 28.04.2023) // КонсультантПлюс онлайн. – Режим доступа: URL https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения 26.09.2023)
2. Викулов, В. Е. Рациональное природопользование: от теории к практике / В. Е. Викулов // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. – 2018. – № 3. – С. 54-61.
3. Гурова, Т. Ф. Экология и рациональное природопользование : учебник и практикум для вузов / Т. Ф. Гурова, Л. В. Назаренко. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 188 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07032-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/513603>

4. Кабанова, Ю. С. Проблема рационального использования лесных ресурсов в России / Ю. С. Кабанова, А. А. Агабабян // . – 2021. – № 1(40). – С. 97-99.

5. Ким, Г. О. Проблема рационального лесопользования / Г. О. Ким, И. Ю. Минин // Вестник науки. – 2022. – Т. 5, № 5(50). – С. 161-165

6. Маргацкая, А. А. Аренда лесного участка / А. А. Маргацкая // Современное состояние земельно-имущественного комплекса: проблемы и перспективы развития: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Красноярск, 15 ноября 2021 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. – С. 73-75.

7. Официальный сайт Федеральное агентство лесного хозяйства. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/> (дата обращения 26.09.2023)

8. Памятка арендатора лесного участка. URL https://dlh44.ru/i/u/Low/pamyatka_arendatora_lesnogo_uchastka (дата обращения 26.09.2023)

References

1. Forest Code of the Russian Federation No. 200-FZ dated 04.12.2006 (ed. dated 28.04.2023) // Consultant Plus online. – Access mode: URL https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 26.09.2023)

2. Vikulov, V. E. Rational nature management: from theory to practice / V. E. Vikulov // Bulletin of the Buryat State University. Biology, geography. – 2018. – No. 3. – pp. 54-61.

3. Gurova, T. F. Ecology and rational nature management : textbook and workshop for universities / T. F. Gurova, L. V. Nazarenko. — 3rd ed., ispr. and add. — Moscow : Yurayt Publishing House, 2023. — 188 p. — (Higher education). — ISBN 978-5-534-07032-3. — Text : electronic // Yurayt Educational Platform [website]. — URL: <https://urait.ru/bcode/513603>

4. Kabanova, Y. S. The problem of rational use of forest resources in Russia / Y. S. Kabanova, A. A. Aghababyan // . – 2021. – № 1(40). – Pp. 97-99.

5. Kim, G. O. The problem of rational forest management / G. O. Kim, I. Y. Minin // Bulletin of Science. – 2022. – Vol. 5, No. 5(50). – pp. 161-165

6. Margatskaya, A. A. Rent of a forest plot / A. A. Margatskaya // The current state of the land and property complex: problems and prospects of development: Materials of the All-Russian Student Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, November 15, 2021. – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2021. – pp. 73-75.

7. Official website of the Federal Forestry Agency. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/> (accessed 26.09.2023)

8. Memo of the tenant of the forest plot. URL https://dlh44.ru/i/u/Low/pamyatka_arendatora_lesnogo_uchastka (accessed 26.09.2023)

Момот Р.В.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Инструменты расширения воронки «зеленых» проектов компаний:
систематизация, основные вызовы и возможности**

Аннотация. В статье рассмотрены основные принципы реализации «зеленых» проектов и сформирован инструментарий реализации «зеленых» инициатив. Предложены меры регулирования «зеленых» инициатив в части ужесточения требований к снижению негативного воздействия на окружающую среду, в области экономики замкнутого цикла и снижения выбросов парниковых газов. Доказано, что интенсификация взаимодействия бизнеса, государства и финансовых институтов будет способствовать повышению эффективности реализации «зеленых» проектов.

Ключевые слова: «зеленые» проекты, таксономия, ресурсоэффективность, предприятия

Momot R.V.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Tools for expanding the number of companies' green projects: systematization,
main challenges and opportunities**

Abstract

The article discusses the basic principles of implementing “green” projects and creates a toolkit for implementing “green” initiatives. Measures have been proposed to regulate “green” initiatives in terms of tightening requirements for reducing negative impacts on the environment, in the field of a circular economy and reducing greenhouse gas emissions. It has been proven that intensifying interaction between business, government and financial institutions will help improve the efficiency of implementation of “green” projects

Keywords: «green» projects, taxonomy, resource efficiency, enterprises

Амбициозное целеполагание компаний с точки зрения снижения их воздействия на окружающую среду требует разработки инструментов поддержки реализации “зеленых” проектов, а также создания прозрачных, понятных механизмов их использования. Разработка нормативно-правовой базы с точки зрения ужесточения требований по снижению негативного воздействия на окружающую среду, включая регулирование экономики замкнутого цикла и

сокращение выбросов парниковых газов, также должна учитывать создание мер государственной поддержки, которые позволят компаниям быстрее реализовывать свои проекты. Активизация взаимодействия между бизнесом, правительством и финансовыми институтами сделает эту работу более эффективной. Повестка в области устойчивого развития ежегодно расширяется и приобретает новые фокусы, что также служит гарантом сохранения ее актуальности. Для индустриальных компаний реализация проектов, связанных с эффектами снижения негативного воздействия на окружающую среду, сокращением выбросов и/или увеличением поглощения парниковых газов, является фактором ресурсоэффективности, а также инструментом реализации публичных целей в области экологичности производства и снижения его воздействия на климат. Но несмотря на результаты, которые достигает бизнес, запрос на рост амбициозности публичных обязательств компаний со стороны основных групп стейкхолдеров растет ежегодно.

С достижением определенного уровня ресурсоэффективности, воронка экономически эффективных проектов к реализации в контуре компании становится все меньше и меньше, поэтому встает вопрос либо о поиске дополнительных мер, позволяющих сделать экономику проекта положительной, либо о создании/применении различных (как внутренних так и внешних) инструментов стимулирования реализации таких проектов. Стимулирование, помимо различных мер поддержки, может также быть выражено в виде будущих рисков (штрафов, повышающих коэффициентов, запретов), что также является важным триггером реализации компаниями крупных «зеленых» проектов. Также, если говорить о финансовых институтах, то их целеполагание в части метрик в области устойчивого развития связано со снижением воздействия внутри своего «портфеля», что неизбежно создает необходимость развивать собственные механизмы «зеленого» финансирования.

Если говорить о терминологии «зеленый» проект – то существует множество определений, которые применяются для различных целей - это могут быть:

- определения, касающиеся определенного нормативно-правового акта/ регулирования/ стандарта, регламентирующего конкретную сферу/ направление, связанное с реализацией «экологических» проектов (например, Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 №1912-р «Об утверждении целей и основных направлений устойчивого (в том числе зеленого) развития Российской Федерации»);

- определения, касающиеся конкретной компании, которая для своих целей сформулировала для себя понятие и критерии таких проектов (например, финансовый институт, который внедрил «зеленые» инструменты финансирования)

- определения, касающегося общепринятой трактовки термина.

Из общих признаков изложенных выше, «зеленые» проекты обладают следующими критериями: их реализация несет в себе сопутствующие положительные эффекты снижения негативного воздействия на окружающую среду (как в контуре проекта, так и за его пределами); их реализация связана с

внедрением самых современных (на текущий момент времени) технологий. В данном определении следует выделить отдельную категорию проектов – климатические. Данные проекты также имеют внутри себя различную классификацию по принципу отнесения к определенному стандарту, рынку, качеству проекта, но их реализация так или иначе зарегулирована как на межстрановом, так и на страновом уровнях.

Несмотря на достаточно длительное существование различных инструментариюв реализации «зеленых» проектов, масштабность их применения остается низкой – существенный рост наблюдается только с 2015-2016 гг., что в том числе связано с принятием странами Парижского соглашения [1].

Это говорит о существовании проблем, связанных с их применением, либо об отсутствии прозрачной механики использования этих инструментов. Тем не менее компании ежегодно тратят большое количество ресурсов на поиск эффективных инструментов реализации таких проектов, а также анализ правоприменительной практики и идентификацию новых возможностей. Зачастую практика показывает, что более доступными оказываются инструменты не «зеленого» финансирования, а инструменты обоснования проекта через механизмы государственной/ региональной поддержки, либо вовлечение в проект дополнительных участников (совместная реализация).

Иногда дополнительная «эффективность» от реализации проекта оценивается через сопутствующие имиджевые/ репутационные/ коммуникационные эффекты, величину которых рассчитать можно только опосредованно. Тем не менее, компании также рассматривают данные эффекты как значимые с точки зрения долгосрочной отдачи.

При этом проекты должны одновременно удовлетворять нескольким принципам, в том числе соответствовать одному или нескольким основным направлениям устойчивого развития и оказывать положительное воздействие на окружающую среду, в частности:

- сохранение, охрана или улучшение состояния окружающей среды;
- снижение выбросов и сбросов загрязняющих веществ и (или) предотвращение их влияния на окружающую среду, снижение объема образования отходов и/или их размещение на полигонах;
- сокращение выбросов парниковых газов;
- создание/ разработка новых технологий;
- энергосбережение и повышение эффективности использования ресурсов, замкнутые циклы (система замкнутого водооборота).

Но, безусловно, приоритетом для компаний является поиск возможностей улучшения экономики проектов. Инструменты, которые позволяют улучшить экономику «зеленых» проектов можно разбить на инструменты, связанные с митигацией рисков и на инструменты, связанные с поиском возможностей. К группе рисков можно отнести риски, связанные с внедрением более жесткого регулирования в отношении тех или иных видов воздействия на окружающую среду, а также риски, связанные с возможными потенциальными аварийными ситуациями на производствах.

К инструментам возможностей можно отнести:

- инструменты, позволяющие привлечь средства по более привлекательным условиям и/ или снизить расходы на определенные услуги финансовых институтов (например, «зеленый» кредит, «зеленый» факторинг и т.д.);

- инструменты, позволяющие монетизировать эффект (например, выпуск и продажа углеродных единиц уже реализованного проекта);

- стимулирующие - позволяющие увеличить воронку проектов (например, «зеленая» таксономия).

Все эти инструменты также могут учитываться при обосновании «зеленого» проекта – как потенциальные выгоды, в результате которых предприятие генерирует дополнительную ценность, выступая внутренним элементом повышения привлекательности таких проектов для инвестирования.

Однако, даже при наличии такого внутреннего инструментария, стимулирование развития «зеленого» проектирования лежит в плоскости поддержки на уровне государства и региона присутствия компании.

Такие меры государственной или региональной поддержки представляют собой закрепленные на законодательном уровне требования и критерии реализации «зеленых» проектов, а также механизмы их развития, включая «зеленую» таксономию [2].

Так, Постановление № 373 содержит перечень направлений зеленых инициатив, на реализацию которых можно привлечь льготное финансирование через специальные облигации или займы [3].

Наличие национальной таксономии зеленых проектов и мер поддержки зеленых инициатив позволит российскому бизнесу принимать взвешенные инвестиционные решения с точки зрения экологической и климатической устойчивости ведения финансово-хозяйственной деятельности.

Основными «сложностями» использования таких мер для компаний являются: средний уровень проработанности (ввиду новизны данных механизмов), отсутствие ряда документов, регламентирующих все области реализации таких проектов, сложности в применении, высокие риски в части отчетности о результатах реализации данных проектов (ввиду отсутствия практики).

Для развития «зеленых» проектов не менее важным является наличие рыночных инструментов поддержки. В данном случае речь может идти о инструментах финансовых институтов и добровольных рынках. К таким мерам, в частности, можно отнести «зеленые» кредиты, «зеленые» облигации, «зеленый» факторинг, а также широкий спектр добровольных углеродных рынков. По данным доклада «ESG и зеленые финансы России 2018–2022» подготовленного экспертно-аналитической платформой «Инфраструктура и финансы устойчивого развития» в 2018–2021 годах состоялось 33 выпуска зеленых, социальных и иных целевых облигаций в формате устойчивого развития российских эмитентов суммарным объемом около 418 млрд руб. В структуре рынка облигаций устойчивого развития доминируют зеленые облигации, однако в 2021 году активность в сегменте социальных облигаций

была выражена очевиднее — объем привлеченных средств вырос по сравнению с 2020 годом на 70,9%. Общий объем эмиссии глобального рынка GSSSB* бондов в 2022 году снизился на 16-18% (около 900 млрд долларов США) по сравнению с 2021 годом, но в 2023 году ожидается рост на 5-17%, что примерно будет соответствовать возвращению на уровень 2021 года [4].

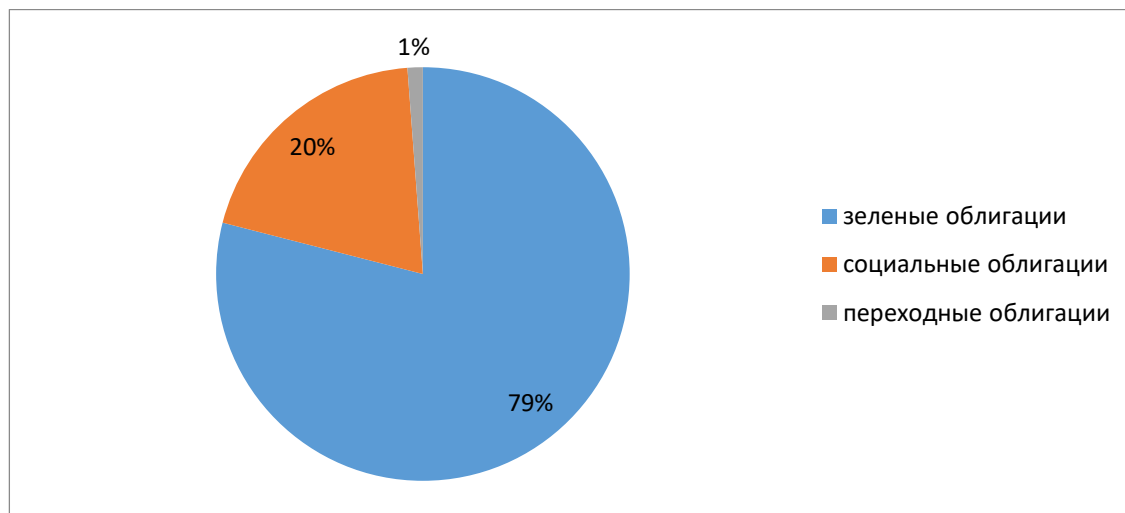


Рисунок 1 - Объем и структура рынка облигаций в формате устойчивого развития российских эмитентов, млрд. руб./% 2018–2021 гг. [5]

Несмотря на достигнутый успех в вопросах регулирования «зеленых» проектов, созданная законодательная база недостаточна и сформированы наиболее общие условия для организации рынка «зеленых» облигаций в России [6].

Основными сложностями использования данных инструментов являются: зачастую чрезмерно жесткие требования финансовых институтов (конкретное целеполагание по метрикам снижения воздействия, что зачастую сложно оценить на этапе планирования проекта), ввиду отсутствия понятных маршрутов необходима «склейка» собственных кейсов (например, успешные кейсы монетизации результатов реализации климатических проектов существенным образом зависят от «новизны», безупречности проработки механики продажи (от маркетинга, до упаковки коммуникации)).

Таким образом, в России только формируется система мер государственной поддержки «зеленых» проектов. При этом их реализация требует системного подхода со стороны компаний, включающего как создание внутренних стимулов, так и подбор оптимального «внешнего» инструмента.

Основной причиной отсутствия единого доступного, понятного и актуального ресурса, содержащего перечень возможных инструментов реализации «зеленых» проектов остается высокий уровень конкуренции за финансовые, временные и интеллектуальные ресурсы. Сдерживающими факторами выступают низкий кадровый потенциал, отражающий недостаток профильных специалистов обладающих компетенциями в области зеленой

* Green, social, sustainable, and sustainability-linked bonds («зеленые», социальные, привязанные к показателям устойчивого развития бонды).

экономики и устойчивого развития, что в сочетании с рискованной составляющей снижает инвестиционную привлекательность «зеленых» проектов.

Список литературы

1. Global Landscape of Climate Finance 2019, Climate Policy Initiative, 2019 URL: 2019-Global-Landscape-of-Climate-Finance.pdf (дата обращения: 04.10.2023)
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 21.09.2021 № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации»
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 11.03. 2023 №373 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2021 г. № 1587»
4. Global Sustainable Bonds 2023 Issuance To Exceed \$900 Billion, S&P Global, 2023 (3)
5. «Инфраструктура и финансы устойчивого развития» www.infragreen.ru.
6. Раков И. Д. Механизмы поддержки финансирования «Зеленых» проектов: опыт стран // Russian Journal of Economics and Law. 2017. №2 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizmy-podderzhki-finansirovaniya-zelenyh-proektov-opyt-stran> (дата обращения: 03.10.2023).

References

1. Global Landscape of Climate Finance 2019, Climate Policy Initiative, 2019 URL: 2019-Global-Landscape-of-Climate-Finance.pdf (дата обращения: 04.10.2023)
2. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1587 dated 09/21/2021 "On Approval of Criteria for Sustainable (including Green) Development Projects in the Russian Federation and Requirements for the Verification System for Sustainable (including Green) Development Projects in the Russian Federation"
3. Resolution of the Government of the Russian Federation of 11.03.2023 No. 373 "On Amendments to the Resolution of the Government of the Russian Federation of September 21, 2021 No. 1587"
4. The issue of global sustainable bonds for 2023 will exceed \$900 billion, S&P Global, 2023 (3)
5. "Engineering structure and technologies of sustainable development" www.infragreen.ru
6. Rakov I. D. Mechanisms for stimulating "green" projects: work experience // Russian Journal of Economics and Law. 2017. No.2 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizmy-podderzhki-finansirovaniya-zelenyh-proektov-opyt-stran> (accessed: 03.10.2023).

Морковина С.С., Шашкин А.П.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

О потенциале нарушенных земель для целей реализации лесных климатических проектов

Аннотация. В статье выполнено исследование структуры нарушенных земель и установлены основные деструктивные причины возникновения увеличения их количества. Наиболее значимыми причинами является рост природопользования и недропользования, а также увеличение природных опасных явлений, таких как пожары, водная и ветровая эрозия. Рассмотрены этапы восстановления нарушенных земель и дана оценка возможности реализации лесных климатических проектов, как элемента системы рекультивации.

Ключевые слова: нарушенные земли, лесные климатические проекты

Morkovina S.S., Shashkin A.P.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

About the potential of disturbed lands for the implementation of forest climate projects

Abstract. The study examines the structure of disturbed lands and identifies the main destructive causes of their increase. The most important causes are increased natural and land use, as well as increased natural hazards such as fire, water and wind erosion. The stages of restoration of disturbed lands were considered and the potential of implementation of forest climate projects as an element of the restoration system was assessed.

Key words: disturbed lands, forest climate projects

Одним из результатов хозяйственной деятельности являются нарушенные земли, то есть земли, утратившие в связи с хозяйственной деятельностью первоначальную ценность и являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду.

К нарушенным землям относятся: выемки карьеров, выработки торфа, породные отвалы шахт, карьеров, приисков, отстойники, гидроотвалы и хвостохранилища, золоотвалы электростанций, отвалы шлака металлургических заводов, отвалы коммунального и строительного мусора, деформированные поверхности шахтных полей (прогибы, провалы), дражные поля, резервы и кавальеры вдоль железных и шоссейных дорог, трассы трубопроводов и

канализационных коллекторов, геологоразведочные выработки (карьеры, канавы, шурфы), площадки буровых скважин, промплощадки, транспортные и иные коммуникации ликвидированных предприятий или отдельных их объектов, загрязненные земли на нефтяных, газовых, соляных и других месторождениях, а также загрязненные участки поверхности земли, если для их восстановления требуется снятие и замена верхнего плодородного слоя почвы.

На 1 января 2022 года площадь нарушенных земель составила 1091,9 тыс. га, что на 5,9 тыс. га больше по сравнению с предыдущим годом.

Площадь земель запаса, являющихся нарушенными землями, в 2022 году составила 97,3 тыс. га.

В отношении иных категорий, нарушенными являются 94,4 тыс.га земель населенных пунктов, 208,1 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения, 3,0 тыс. га земель водного фонда, 1,3 тыс. га земель ООПТ, 450,4 тыс. га земель промышленного назначения и 237,4 тыс. га земель лесного фонда (рисунок 1). Для урбанизированных территорий наиболее характерными являются такие негативные воздействия, как разрушение почвенного покрова, загрязнение и захламление земель промышленными и бытовыми отходами.

В районах Крайнего Севера в результате многоцелевого и крупномасштабного промышленного освоения территорий возникли обширные очаги загрязнения, захламления, нарушения и деградации земель.

Наибольшие площади нарушенных земель расположены на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (105,4 тыс. га), Кемеровской области – Кузбасса (98,0 тыс. га), Магаданской (77,7 тыс. га), Свердловской (61,4 тыс. га) областей, Ханты-Мансийского (55,7 тыс. га) и Чукотского (47,5 тыс. га) автономных округов, Московской (34,6 тыс. га), Челябинской (34,0 тыс. га) областей, Республики Саха (Якутия) (30,9 тыс. га), Иркутской (26,6 тыс. га), Ленинградской (22,9 тыс. га), Вологодской (22,2 тыс. га) областей, Забайкальского края (24,2 тыс. га).

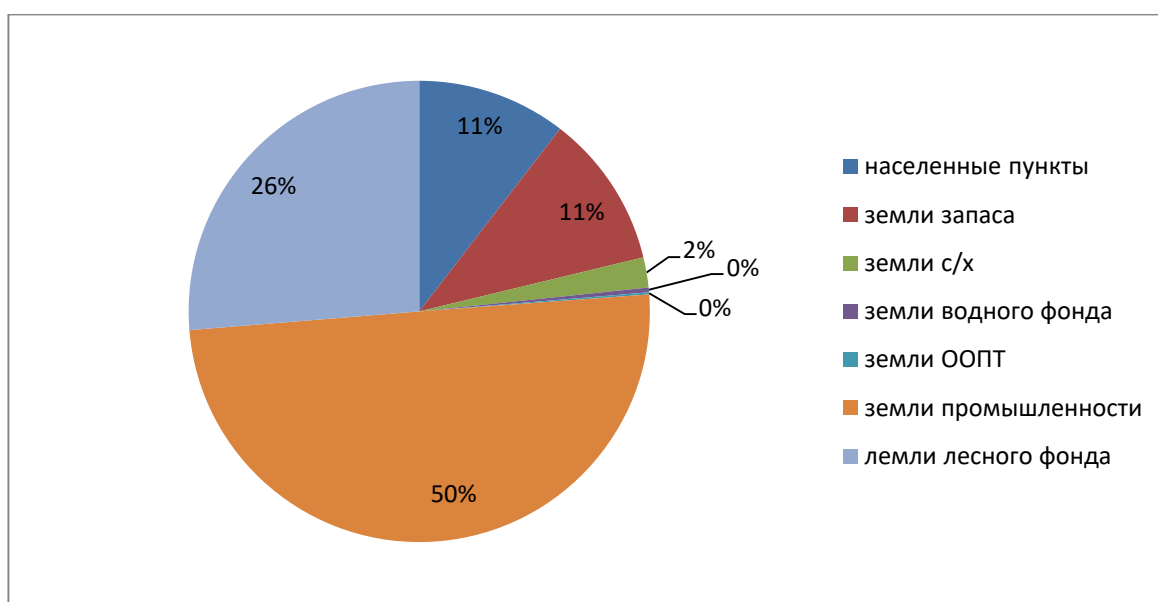


Рисунок 1 – Структура нарушенных земель [1]

В структуре нарушенных земель по понятным причинам первое место занимают земли промышленного назначения, второе место отведено землям лесного фонда.

К землям лесного фонда, согласно данным государственного лесного реестра (ГЛР-1) относятся лесные и нелесные земли общей площадью 1144739,8 тыс. га. В составе этих земель на лесные земли приходится 862833,3 тыс. га или 75,3% общей площади и 24,7% на нелесные земли. В структуре лесных земель выделяют земли занятые лесными насаждениями (покрытые лесной растительностью) объединяющие земли, предназначенные для лесовосстановления (фонд лесовосстановления), несомкнувшиеся лесные культуры, питомники и лесные плантации и естественные редины.

Не менее важны земли, не покрытые лесной растительностью в составе которых можно выделить пашни, сенокосы, пастбища, воды, сады, дороги, болота, пески, ледники и прочие земли, площадью 281906,5 тыс. га.

В тоже время леса произрастают не только на землях лесного фонда но и на иных категориях таких, как земли обороны, населенных пунктов, ООПТ или сельскохозяйственного назначения.

Увеличение количества нарушенных земель в лесном фонде крайне неблагоприятно отражается не только на экологии лесных экосистем, но и наносит ущерб экономической и социальной сфере.

Важно отметить, что причины появления нарушенных земель в составе земель лесного фонда в наиболее общем плане представлены тремя группами (рис. 2).

Первая группа нарушенных земель лесного фонда образовалась по результатам недропользования, добычи песка, гравия и иных полезных ископаемых в местах их залегания.

Территории интенсивного недропользования имеют важное значение в социально-экономическом развитии страны и в значительной части является основной базой формирования экспорта данного сектора экономики. В тоже время такая деятельность нередко приводит к нарушению лесных и земельных ресурсов [2]. В этой связи и в соответствии с Лесным Кодексом РФ земли, нарушенные или загрязненные при использовании лесов в целях осуществления геологического изучения недр, разведки и добычи полезных ископаемых, подлежат рекультивации после завершения работ в соответствии с проектом рекультивации, а объекты, связанные с геологическим изучением, разведкой и добычей полезных ископаемых, подлежат консервации или ликвидации в соответствии с законодательством о недрах.

При этом предприниматели, осуществляющие недропользование должны обеспечить рекультивацию земель, которые использовались для строительства, реконструкции объектов необходимых для такой деятельности.

Проведение рекультивации и оформление соответствующих документов в отношении нарушенных земель лесного фонда осуществляются в соответствии с требованиями как природоохранного законодательства, так и ведомственных нормативных актов, регламентирующих вопросы распоряжения землями лесного фонда и использования таких земель.

В случае использования земель лесного фонда для целей недропользования рекультивация земель проводится также с учетом положений законодательства о недрах.

Второй не менее важной причиной возникновения нарушенных лесных земель являются природные процессы водной и ветровой эрозии, селей, подтопления, заболачивания, вторичного засоления, иссушения, уплотнения почв и, безусловно, лесные пожары. Последствия лесных пожаров на протяжении последних лет носят катастрофический характер как по площади пройденной огнем, так и по масштабам потерь.

Наименьшее количество нарушенных земель является следствием перевода деструктивных земельных участков из иных категорий землепользования. Исследователи данной проблематики, подчеркивают, что интенсивно используемые торфяники преобразуются в антропогенно нарушенные территории, развитие которых определяется не естественными процессами, а антропогенными изменениями: осушением, выработкой торфа, вторичными воздействиями (пожары, минерализация, деградация почв)[3,4].

В последующем такие участки антропогенно нарушенных торфяников передаются в лесной фонд, при этом экологическую обстановку в лесах существенно ухудшается.



Рисунок 2 – Причины образования нарушенных земель в лесном фонде

Одним из множества приемов, смягчающих негативные воздействия хозяйственной деятельности человека и неблагоприятных природных явлений на земли лесного фонда, является своевременное проведение рекультивации деградированных земель и лесовосстановительных работ на землях, нарушенных порубочными работами, лесными пожарами и другими негативными воздействиями природного и антропогенного характера.

Согласно Постановлению Правительства РФ № 800 от 10 июля 2018 г. «О проведении рекультивации и консервации земель», рекультивация земель - мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почвы, восстановления плодородного слоя почвы и создания защитных лесных насаждений.

Рекультивация земель осуществляется в соответствии с утвержденным проектом рекультивации земель, путем проведения технических и (или) биологических мероприятий.

Технические мероприятия могут предусматривать планировку, формирование откосов, снятие поверхностного слоя почвы, нанесение плодородного слоя почвы, устройство гидротехнических и мелиоративных сооружений, захоронение токсичных вскрышных пород, возведение ограждений, а также проведение других работ, создающих необходимые условия для предотвращения деградации земель, негативного воздействия нарушенных земель на окружающую среду, дальнейшего использования земель по целевому назначению и разрешенному использованию и (или) проведения биологических мероприятий.

Биологические мероприятия включают комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы [5].

В связи с этим на предприятиях, деятельность которых связана с нарушением земель, неотъемлемой частью технологических процессов являются работы по рекультивации земель (комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и другой ценности земель, а также на улучшение условий окружающей среды).

Посадка на посттехногенных землях древесной растительности в стране проводится на протяжении более чем 70 лет [6]. За прошедший период методами лесной рекультивации возвращено в хозяйственный оборот более 200 тыс. га.

В последние годы, в связи с возросшим интересом к реализации мер и проектов по сокращению выбросов и увеличению поглощения парниковых газов, становится возможным привлечение инвестиций в лесные климатические проекты на нарушенных землях. Лесоклиматические проекты могут быть реализованы, как посадка лесных культур на нарушенных землях лесного фонда (сеянцами, саженцами, черенками) в целях их восстановления с использованием древесных пород адаптированных к климатическим изменениям и отличающихся высоким секвестрационным потенциалом [7].

Отметим, что для таких лесоклиматических проектов становится возможным реализация принципов дополнительности, постоянства и контроля «утечек».

Безусловно, реализация лесных климатических проектов на нарушенных землях является высоко затратной для бизнеса, т.к. требует осуществления и технических и биологических мер. В тоже время проектный потенциал таких

проектов не ограничен землями лесного фонда и может быть распространен на земли иных категорий. При этом наиболее затратную техническую часть можно отнести на издержки предприятия виновника деструктивных процессов, что также повышает инвестиционную привлекательность проектных решений. Социальная значимость лесных климатических проектов лесовосстановления, как элемента системы рекультивации на нарушенных землях не вызывает сомнения, обеспечивая максимум сопряженных выгод таких проектов не только для бизнеса но и населения.

Список литературы

1. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2021 году
2. Трещевская Э. И. Перспективы лесной рекультивации техногенных ландшафтов с помощью культур тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) / Э. И. Трещевская, И. В. Голядкина, С. В. Трещевская [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10, № 2(38). – С. 81-92.
3. Москаленко Н.В., Булко Н.И., Машков И.А., Толкачева Н.В., Серенкова В.А., Бутьковец В.В. Экологические аспекты реабилитации переданных в лесной фонд деградированных мелиорированных торфяников // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-reabilitatsii-peredannyh-v-lesnoy-fond-degradirovannyh-meliorirovannyh-torfyanikov> (дата обращения: 02.10.2023).
4. Treshchevskaya E. I. Soil development processes under different tree species at afforested post-mining sites / E. I. Treshchevskaya, E. N. Tikhonova, I. V. Golyadkina, T. A. Malinina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)", Voronezh, 04–05 октября 2018 года. Vol. 226, conference 1. – Institute of Physics Publishing: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012012.
5. Рекомендации по повышению плодородия песков и песчано-меловых смесей при лесной рекультивации отвалов Курской магнитной аномалии / Э. И. Трещевская, Я. В. Панков, А. М. Бабец [и др.] – Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2012. – 18 с.
6. Михин В. И. Системы защитных лесных насаждений в условиях центрального Черноземья России / В. И. Михин, Е. А. Михина, Д. В. Михин, В. В. Михина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 124. – С. 403-413.
7. Морковина С.С. Экономические аспекты организации карбоновых ферм на лесных землях / С. С. Морковина, Е. А. Панявина, И. И. Шанин, И. А. Авдеева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2021. – Т. 9, № 1(52). – С. 17-25.

References

1. State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2021
2. Treshchevskaya E. I. Prospects of forest recultivation of technogenic landscapes with the help of balsamic poplar cultures (*Populus balsamifera* L.) / E. I. Treshchevskaya, I. V. Golyadkina, S. V. Treshchevskaya [et al.] // Forestry Journal. – 2020. – Vol. 10, No. 2(38). – pp. 81-92.
3. Moskalenko N.V., Bulko N.I., Mashkov I.A., Tolkacheva N.V., Serenkova V.A., Butkovets V.V. Ecological aspects of rehabilitation of degraded reclaimed peat bogs transferred to the forest fund // Bulletin of Polessky State University. A series of natural sciences. 2019. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-reabilitatsii-peredannyh-v-lesnoy-fond-degradirovannyh-meliorirovannyh-torfyanikov> (accessed: 02.10.2023).
4. Treshchevskaya E. I. Soil development processes under different tree species at affordable post-mining sites / E. I. Treshchevskaya, E. N. Tikhonova, I. V. Golyadkina, T. A. Malinina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)", Voronezh, 04-05 October 2018. Vol. 226, conference 1. – Institute of Physics Publishing: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012012.
5. Recommendations on increasing the fertility of sands and sand-chalk mixtures during forest reclamation of the dumps of the Kursk magnetic anomaly / E. I. Treshchevskaya, Ya. V. Pankov, A.M. Babets [et al.] – Voronezh: Voronezh State Forestry Academy, 2012. – 18 p.
6. Mikhin V. I. Systems of protective forest plantations in the conditions of the central Chernozem region of Russia / V. I. Mikhin, E. A. Mikhina, D. V. Mikhin, V. V. Mikhina // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. - 2016. – No. 124. – pp. 403-413.
7. Morkovina S.S. Economic aspects of the organization of carbon farms on forest lands / S. S. Morkovina, E. A. Panyavina, I. I. Shanin, I. A. Avdeeva // Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. – 2021. – Vol. 9, No. 1(52). – pp. 17-25.

Подходы к выбору критериев оценки эффективности использования объектов природопользования

Выбор наиболее эффективного проекта в хозяйственной деятельности традиционно важная задача для руководителя практически любого уровня. Не исключением является и такое направление хозяйственной деятельности, как природопользование. Важнейшей задачей становится выбрать индикатор, способный четко указать на тот вариант проекта, который будет наиболее целесообразен к реализации. В области эксплуатации объектов природопользования таких, как лесопарковые зоны отдыха, резонно говорить о таких важных аспектах деятельности, как максимальное сохранение зеленых насаждений, обеспечение эстетичности, природоохранных мероприятий и т.д. Однако для экономиста главным критерием отбора проектов является принцип эффективности. На первый взгляд совершенно очевидно, что в первую очередь реализации подлежат проекты, приносящие наибольшую прибыль, при этом требующие минимальные вложения труда, финансовых и материальных ресурсов. Однако следуя этой логике, можно прийти к ошибочным и в некоторой степени абсурдным выводам. Например, можно предложить построить на месте парка торговый центр или любой другой высокодоходный объект хозяйствования. Что, к сожалению, в нашей стране было не редкостью в девяностых и начале нулевых годов. Но если всё же априори принять тот факт, что целевая функция существования лесопарковых зон несёт в себе помимо экономической составляющей ещё и социальную, то выбор критериев оценки их эффективности становится делом чрезвычайно сложным.

Если опираться на принципы построения сбалансированной с точки зрения экологической составляющей среды существования общества, невозможно недооценить важность лесопарковой зоны. Но также важно помнить о том, что парк может нести в себе большую или меньшую коммерческую составляющую. Положительные финансовые потоки, поступающие в казну государства от коммерческой деятельности, осуществляемой в пределах созданного парка, могут направляться как на поддержание уже имеющейся парковой инфраструктуры, так и на создание новой.

Ключевые слова: объект природопользования, критерии эффективности, анализ.

Approaches to the selection of criteria for evaluating the effectiveness of the use of environmental management objects

Abstract. Choosing the most effective project in economic activity is traditionally an important task for a manager at almost any level. Such a direction of economic activity as environmental management is not an exception. It becomes an extremely urgent task to choose an indicator that can clearly indicate the project option that will be most appropriate for implementation. In the field of operation of nature management facilities such as forest park recreation areas, it is reasonable to talk about such important aspects as maximum preservation of green spaces, ensuring aesthetics, environmental protection measures, etc. however, for an economist, the main criterion for selecting projects is the principle of efficiency. At first glance, it is quite obvious that, first of all, projects that bring the greatest profit, while requiring minimal investment of labor, financial and material resources, are subject to implementation. However, following this logic, one can come to completely erroneous and to some extent absurd conclusions. For example, you can propose to build a shopping center or any other highly profitable business object on the site of the park. Which, unfortunately, was not uncommon in our country, in the nineties and early noughties. But if we still accept a priori the fact that the objective function of the existence of forest park zones carries in itself, in addition to the economic component, also a social one, then the choice of criteria for evaluating their effectiveness becomes extremely difficult.

If we rely on the principles of building a balanced environment from the point of view of the ecological component of the society's existence, it is impossible to underestimate the importance of the forest park zone. But it is also important to remember that a park can carry a greater or lesser commercial component. Positive financial flows coming to the state treasury from commercial activities carried out within the established park can be directed, among other things, both to maintain the existing park infrastructure and to create a new one.

Keywords: environmental management object, efficiency criteria, analysis.

1. Введение

Как было отмечено ранее, определение экономической эффективности объектов природопользования таких, как парковые зоны, является сложным делом вследствие их значительной социальной значимости, а также больших первоначальных затрат, направленных на развитие инфраструктуры объекта.

Традиционным пониманием экономического эффекта является сопоставление полученного результата и произведенных затрат в денежном

выражении. Так, согласно П. Самуэльсону и У. Нордхаусу, экономическая эффективность – это получение максимума возможных благ от имеющихся ресурсов, постоянно соотнося выгоды (блага) и затраты, при этом необходимо вести себя рационально. Производитель и потребитель благ стремятся к наивысшей эффективности, максимизируя при этом свои выгоды и минимизируя затраты. [2]

В отечественной практике существует большое количество прикладных исследований в области оценки эффективности различных видов хозяйственной деятельности. Анализ эффективности использования объектов природопользования не является исключением. Основоположителем принципов анализа эффективности в этом виде деятельности стал академик Т. С. Хачатуров. Основная идея предложенного им метода заключается в сопоставлении затрат от капитальных вложений с полученным эффектом от этих затрат. Результирующим показателем выступает коэффициент, который сопоставляют с нормативным, после чего делается вывод об экономической целесообразности проекта. [3]

2. Материалы и методы

В ходе осуществления коммерческой деятельности мы постоянно сопоставляем затраты и получаемые эффекты. В качестве эффекта могут выступать различные результаты. Если эффективно организовать тот или иной бизнес-процесс, можно добиться экономии времени, повышения производительности, улучшения качества обслуживания и т.п., что с большой долей вероятности скажется на конечных результатах в виде дополнительной прибыли.

Нормальным решением в экономической практике является ситуация, когда затраты (С) меньше потенциальной выгоды (В):

$$B - C > 0, \quad (1)$$

и чем больше разрыв между выгодой и затратами, тем более целесообразным является то или иное решение. Например, можно удачно расположить пункты быстрого питания в приведенном выше примере обустройства парковой зоны, и от поступлений в виде арендной платы в том числе содержать прилегающие территории.

По формуле, приведенной выше, удобно оценивать предполагаемый эффект в краткосрочные периоды времени, когда фактор инфляции не столь значителен. Однако всё значительно усложняется в случае рассмотрения многолетних проектов. В этом случае приходится сопоставлять современные затраты и выгоды и будущие затраты и выгоды. Возникает необходимость приведения денежных потоков в настоящем времени к будущим.

Существующий метод дисконтирования денежных потоков позволяет решить эту задачу и привести стоимость будущих денег к настоящим по формуле (PV):

$$PV = \frac{B_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

где r — коэффициент дисконтирования.

Этот подход на практике позволяет сопоставить результаты и затраты, учитывая фактор времени.

Происходящие инфляционные процессы в экономике делают сегодняшние затраты более выгодными тех, которым только предстоит случиться. Очень хорошо иллюстрирует фактор времени следующая формула:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

Отношение, приведённое в формуле (3), даёт возможность сопоставить затраты и результаты (прибыли) во времени. Для экономистов это соотношение далеко не ново и используется для анализа эффективности проектов. Такое соотношение носит название чистой или приведенной текущей стоимости (NPV).

Также широко в ходе оценки эффективности проектов используют два других показателя: показатель внутренней нормы окупаемости, или IRR, а также коэффициент соотношения прибыли/затрат (BCR).

Внутренняя норма окупаемости равна величине ставке дисконтирования, при которой приведенные денежные поступления (выгоды) от реализации проекта равны затратам, произведенным в ходе его реализации (формула 4):

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (4)$$

Коэффициент BCR рассчитывается как соотношению чистой приведенной выгоды от реализации проекта к чистым приведенным затратам:

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (5)$$

В случае если $BCR > 1$, приведенные выгоды больше приведенных затрат. Это трактуется так, что проект будет прибыльным и смысл его принять к исполнению есть. При $BCR < 1$ проект убыточный.

Необходимо отметить, что проблема дисконтирования и определение величины коэффициента дисконтирования (ставки дисконта) носят дискуссионный характер в литературе. Чем коэффициент дисконтирования выше, тем большую ценность для нас имеют современные деньги и получаемые

выгоды, соответственно значимость бедующих выгод и затрат менее значимы. Таким образом, высокие ставки дисконтирования будут способствовать стремлению к более интенсивной эксплуатации природных объектов для получения быстрой отдачи от вложенных средств. В этом случае в ходе принятия экономического решения отдается приоритет максимизации сегодняшнего благосостояния. Эта дилемма выбора степени интенсивности коммерциализации объектов природопользования становится фундаментальным дискуссионным вопросом в ходе реализации проектов освоения новых и реновации уже используемых объектов природопользования. Насыщение коммерческой составляющей безусловно будет способствовать высокой экономической эффективности объекта, однако это может пагубно повлиять на экологическую обстановку непосредственно в самом объекте природопользования, что в свою очередь может пагубно сказаться на социальном климате региона в целом.

В этой связи стоит обратиться к такому широко используемому понятию, как «социально-экономическая эффективность», которое позволяет взглянуть на критерии отбора проектов использования объектов природопользования с другого ракурса.

3. Результаты и их обсуждение

Как отмечали в своих трудах Нордхаус и Самуэльсон, степень удовлетворения потребностей общества является самым важным критерием социально-экономической эффективности, и прежде всего потребностей, связанных с развитием человеческой личности. В ходе своих исследований авторы выявили прямую зависимость между социально-экономической эффективностью системы и степенью удовлетворенности многообразных потребностей людей: материальных, социальных, духовных, гарантирующих высокий уровень и качество жизни. [2]

То есть с точки зрения Самуэльсона и Нордхауса, мерило эффекта — это в конечном счёте степень удовлетворённости человека как потребителя тех или иных материальных и нематериальных благ. Этот тезис тесно взаимосвязан с таким понятием, как качество. Для раскрытия этого понятия будет уместно обратиться к давно известному в области менеджмента качества ГОСТу Р ИСО 9000-2008, согласно которому качество - это степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям.

Возникает вопрос, какие же требования предъявляет общество к объектам природопользования таким, как лесопарковые зоны. Очевидно, что эти объекты в первую очередь обустраиваются как зоны отдыха и культурного досуга.

Важно отметить, что парковые зоны способствуют следующим процессам, улучшающим качество жизни городского населения:

- создают социальную динамику для привлечения бизнеса;
- улучшают состояние воздуха;
- флора и фауна прекрасно сосуществует с городской средой в пределах парка;
- способствуют социальной активности городского населения;
- способствуют улучшению здоровья людей. [4]

4. Заключение

В заключение важно отметить, что недооценка социальных эффектов в ходе реализации проектов эксплуатации объектов природопользования может свести на нет всю экономическую значимость объекта. Проработка вопросов, связанных с выбором критериев оценки эффективности объектов природопользования, может в значительной мере помочь в решении вышеуказанной проблемы. Инновационные методики оценки и анализа объектов природопользования, учитывающие социальный и экономический эффекты, могут стать хорошим «инструментом» в руках учёных и практиков, позволяющим выбрать оптимальные пути развития и эксплуатации как существующих, так и вновь создаваемых объектов природопользования.

Список литературы

1. Ясовеев М. Г., Стреха Н. Л., Пацыкайлик Д. А. Экология урбанизированных территорий: учеб. пособие / Под ред. проф. М. Г. Ясовеева. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2015. 293с.
2. Самуэльсон П., Нордхаус У. Экономика. — М.: Вильямс, 2014. — С. 55. — 1360 с. — ISBN 978-5-8459-1714-0.
3. Экономика природопользования / Т. С. Хачатуров; Отв. ред. Е. И. Капустин; АН СССР, Отд-ние экономики. - 2-е изд. - Москва: Наука, 1987. - 254 с.
4. ГОСТ Р ИСО 9000-2008 п 3.1.1
5. Нагибина И. Ю., Журова Е. Ю. Значение парковых зон для жителей городской среды // Молодой ученый. 2014. № 20. С. 84–85.
6. Ибрагимов, А. Г. Управление природопользованием: учебник для вузов / А. Г. Ибрагимов, Н. Г. Платоновский. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 151 с.
7. Каракеян, В. И. Экономика природопользования: учебник для среднего профессионального образования / В. И. Каракеян. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 330 с.
8. Залунин В. И. Социальная экология: учебник для вузов / В. И. Залунин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 206 с.
9. Масленникова, И. С. Экологический аудит: учебник и практикум для вузов / И. С. Масленникова, Л. М. Кузнецов. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 60 с.
10. Масленникова, И. С. Экологический менеджмент и аудит: учебник и практикум для вузов / И. С. Масленникова, Л. М. Кузнецов. — 2-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 311 с.
11. Ушаков И. Б. Качество жизни и экологический риск // Экология человека. — 1996. — № 3. — С. 73–76.
12. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. — URL: <http://www.smolin.ru/odv/referencesource/2008-03.html>.

References

1. Yasoveev M. G., Strekha N. L., Patsykailik D. A. Ecology of urbanized territories: studies. stipend / Edited by prof. M. G. Yasoveev. Minsk: New Knowledge; Moscow: INFRA-M, 2015. 293s.
2. Samuelson P., Nordhaus U. Economics. — M.: Williams, 2014. — p. 55. — 1360 p. — ISBN 978-5-8459-1714-0.
3. Economics of Environmental Management / T. S. Khachaturov; Ed. by E. I. Kapustin; USSR Academy of Sciences, Department of Economics. - 2nd ed. - Moscow: Nauka, 1987. - 254 p.
4. GOST R ISO 9000-2008 p 3.1.1
5. Nagibina I. Yu., Zhurova E. Yu. The importance of park zones for residents of the urban environment // Young scientist. 2014. No. 20. pp. 84-85.
6. Ibragimov, A. G. Environmental management: textbook for universities / A. G. Ibragimov, N. G. Platonovsky. — Moscow: Yurayt Publishing House, 2023. — 151 p.
7. Karakeyan, V. I. Economics of environmental management: textbook for secondary vocational education / V. I. Karakeyan. — 3rd ed., reprint. and add. — Moscow: Yurayt Publishing House, 2023. — 330 p.
8. Zalunin V. I. Social ecology: textbook for universities / V. I. Zalunin. — 2nd ed., ispr. and add. — Moscow: Yurayt Publishing House, 2023. — 206 p
9. Maslennikova, I. S. Environmental audit: textbook and workshop for universities / I. S. Maslennikova, L. M. Kuznetsov. — Moscow: Yurayt Publishing House, 2023. — 60 p.
10. Maslennikova, I. S. Environmental management and audit: textbook and workshop for universities / I. S. Maslennikova, L. M. Kuznetsov. — 2nd ed. - Moscow: Yurayt Publishing House, 2023. — 311 p.
11. Ushakov I. B. Quality of life and environmental risk // Human ecology. - 1996. — No. 3. — pp. 73-76.
12. The concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2020. — URL: <http://www.smolin.ru/odv/referencesource/2008-03.html>.

Панявина Е.А., Стародубцева Н.А.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Оценка проектной деятельности исполнительного органа
государственной власти Воронежской области в сфере лесного хозяйства
и лесных отношений**

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы финансирования и эффективности реализации Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства». В работе представлена структура Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства». Отражена динамика фактического финансирования Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» и ее основных подпрограмм за счет бюджетных и внебюджетных средств за период 2020 – 2022 гг. Дана оценка каждого целевого показателя (индикатора), отражающего результат достижения целей и решения задач государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» и ее основных подпрограмм. Отдельно рассмотрен региональный проект «Сохранение лесов», реализуемый в рамках национального проекта «Экология», являющийся частью подпрограммы 1 «Обеспечение использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов». Исследование динамики показателей, определяющих эффективность реализации Программы и ее подпрограмм, позволило разработать предложения по совершенствованию проектной деятельности исполнительного органа государственной власти Воронежской области в сфере лесного хозяйства и лесных отношений. Полученные результаты могут стать основой для проведения дальнейших научных исследований в области эффективности финансирования и управления проектной деятельностью в субъектах Российской Федерации.

Ключевые слова: проект, проектная деятельность, исполнительный орган государственной власти, государственная программа, лесное хозяйство, развитие лесного хозяйства.

Panyavina E.A., Starodubtseva N.A.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Assessment of the project activities of the executive body of state power
of a constituent entity of the Russian Federation in the field of forestry
and forest relations**

Abstract. The article discusses issues of financing and the effectiveness of the implementation of the State Program of the Voronezh Region “Forestry Development”.

The work presents the structure of the State program of the Voronezh region “Forestry Development”. The dynamics of actual financing of the State program of the Voronezh region “Development of forestry and its main subprograms at the expense of budgetary and extra-budgetary funds for the period 2020 – 2022” is reflected. An assessment is given of each target indicator (indicator), reflecting the result of achieving the goals and solving the tasks of the state program of the Voronezh region “Forestry Development” and its main subprograms. The regional project “Forest Conservation”, implemented within the framework of the national project “Ecology”, which is part of subprogram 1 “Ensuring the use, protection, protection and reproduction of forests”, is separately considered. The study of the dynamics of indicators that determine the effectiveness of the implementation of the Program and its subprograms made it possible to develop proposals for improving the project activities of the executive body of state power of the Voronezh region in the field of forestry and forest relations. The results obtained can become the basis for further scientific research in the field of efficiency of financing and management of project activities in the constituent entities of the Russian Federation.

Keywords: project, project activity, executive body of state power, state program, forestry, forestry development

1. Введение

В современных реалиях развития национальной экономики РФ проектная деятельность получила признание на всех уровнях государственной власти.

Понятие проекта как комплекса взаимосвязанных мероприятий, направленных на получение уникальных результатов в условиях временных и ресурсных ограничений (национальный проект, федеральный проект, ведомственный проект, региональный проект), отражено в постановлении Правительства РФ от 31.10.2018 г. №1288 «Об организации проектной деятельности в Правительстве Российской Федерации» [1]. Данное постановление также дает характеристику проектной деятельности как деятельности, связанной с инициированием, подготовкой, реализацией (включая мониторинг и внесение изменений в проекты) и завершением реализации проектов.

В настоящее время проекты реализуются на всех уровнях власти, в соответствии с постановлением Правительства РФ от 31.10.2018 г. №1288 в Российской Федерации реализуются следующие виды проектов:

- национальный проект;
- федеральный проект, входящий в состав национального проекта;
- федеральный проект, не входящий в состав национального проекта;
- ведомственный проект;
- региональный проект;
- внутренний (локальный) проект.

Основной составляющей проектной деятельности в государственном секторе являются государственные (муниципальные) программы, являющиеся основой для составления проектов бюджетов на очередной финансовый год и плановый период [2,3].

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 26.05.2021 г. №786 «О системе управления государственными программами Российской Федерации» [4] государственная программа Российской Федерации представляет собой документ стратегического планирования, содержащий комплекс планируемых мероприятий (результатов), взаимоувязанных по задачам, срокам осуществления, исполнителям и ресурсам, и инструментов государственной политики, обеспечивающих достижение приоритетов и целей государственной политики по соответствующим направлениям социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности Российской Федерации, в том числе направленных на достижение национальных целей развития Российской Федерации.

В структуре государственной программы выделяют проекты, определяемые, формируемые и реализуемые в соответствии с постановлением № 1288, а также процессные мероприятия, реализуемые непрерывно, либо на периодической основе.

В целях повышения эффективности использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов Воронежской области, обеспечения стабильного удовлетворения общественных потребностей в ресурсах и полезных свойствах леса при сохранении экономического и экологического потенциала, а также глобальных функций лесов, в Воронежской области утверждена Государственная программа Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» (далее – Программа, ГП ВО «Развитие лесного хозяйства») [5].

Ответственный исполнитель государственной программы – управление лесного хозяйства Воронежской области (далее – Управление, УЛХ ВО).

В настоящее время Программа включает две подпрограммы (подпрограмма 1 «Обеспечение использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов» (2014-2024 годы); подпрограмма 2 «Обеспечение реализации государственной программы» (2014-2024 годы)), которые, в свою очередь, декомпозируются в комплекс мероприятий (рисунок 1).

Окончание реализации Программы отмечено 2024 годом.

Таким образом, в сложившихся условиях актуальной задачей становится исследование финансовой обеспеченности мероприятий Программы с точки зрения эффективности вложения бюджетных средств в лесное хозяйство Воронежской области.

Целью данного исследования является анализ финансирования мероприятий по развитию лесного хозяйства Воронежской области, а также оценка проектной деятельности исполнительного органа государственной власти Воронежской области в сфере лесного хозяйства и лесных отношений.

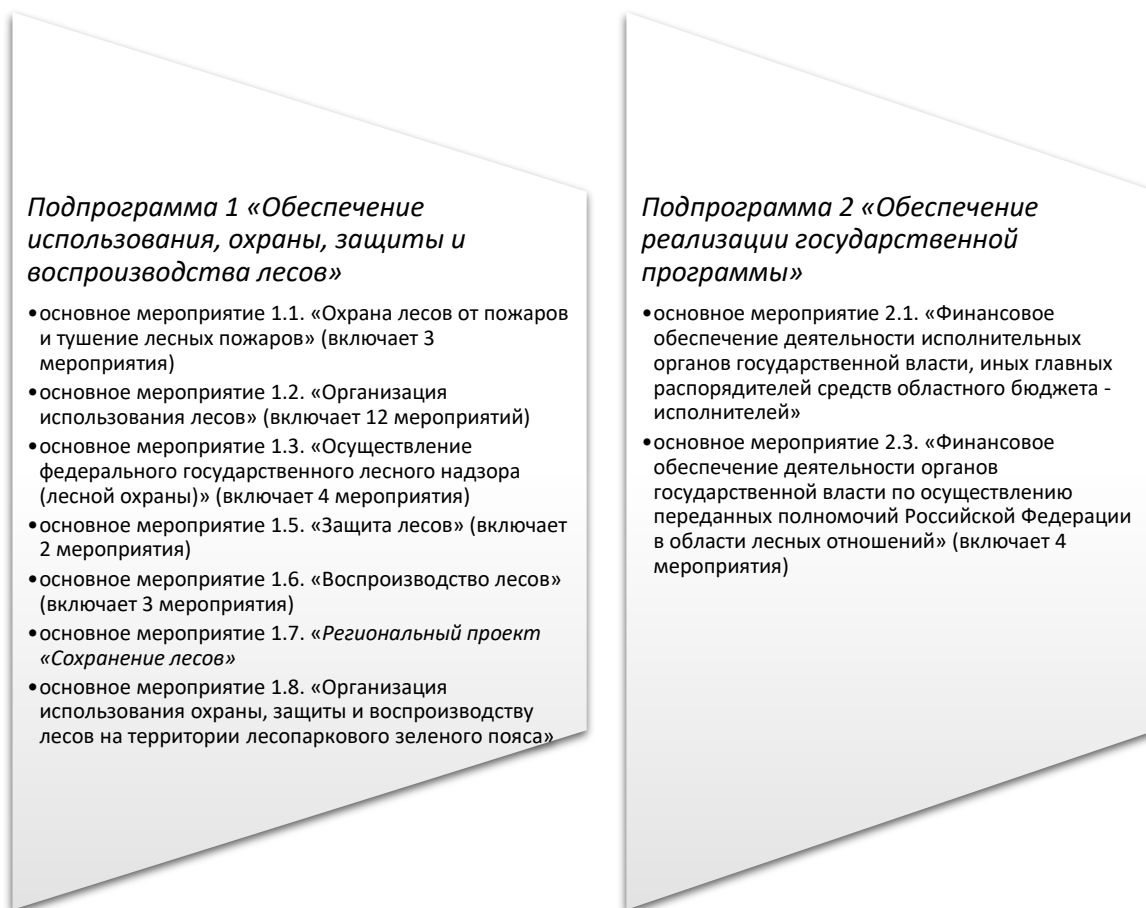


Рисунок 1 – Структура Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» по состоянию на 31.12.2022 г.

2. Материалы и методы

При проведении исследования был реализован комплексный подход к исследованию вопросов финансирования Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства». Источниками информации являлись региональные информационные ресурсы, данные аналитических обзоров, нормативная правовая база по реализации проектной и программной деятельности исполнительных органов государственной власти. При выполнении подготовительных и кабинетных исследований применялись методы статистической обработки массивов данных.

В процессе проведения исследования использованы как общенаучные методы: анализ и синтез, абстракция, обобщение, аналогия, так и специфические: структурный и системный анализ, формализация, графический, табличный метод.

При изучении динамики и структуры финансирования, оценке эффективности реализации Программы и ее подпрограмм использовались методы анализа и синтеза, абстракции, обобщения, системного и структурного анализа.

При представлении результатов исследований использовались метод формализации, графический и табличный методы.

3. Результаты и их обсуждение

На реализацию Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» направляются средства федерального и областного бюджета, а также задействованы внебюджетные источники – средства лесопользователей (рисунок 2).

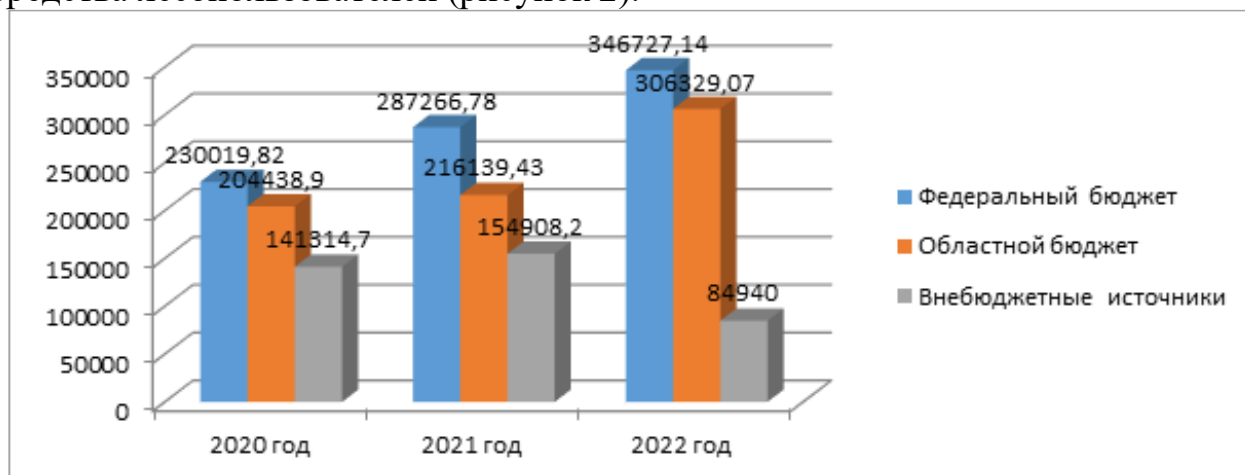


Рисунок 2 – Структура фактического финансирования Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» за период 2020 – 2022 гг., тыс. руб.

Фактически на реализацию государственной программы в 2020 г. направлено (кассовый расход) 434 458,72 тыс. руб. бюджетных средств (99,90 % квартального кассового плана), в 2021 г. – 503 406,21 тыс. руб. (99,79 % квартального кассового плана), в 2022 г. – 653 056,21 тыс. руб. (99,13 % квартального кассового плана). Таким образом, происходит ежегодное увеличение суммы бюджетных средств, выделяемых на мероприятия программы. Выделяемые внебюджетные средства в 2021 году увеличиваются на 9,62%, однако в 2022 г. средства лесопользователей сокращаются на 45,17% по сравнению с 2021 г.

Результат достижения целей и решения задач государственной программы определяется ее целевыми показателями, плановые и фактические значения которых за период 2020 – 2022 гг. представлены в таблице 1.

По данным таблицы 1 годовые плановые значения по показателю Программы «Лесистость территории Воронежской области» не выполнены в 2020 г. Данный факт связан с тем, что Воронежская область является малолесным регионом, в 2020 году обеспечено увеличение лесистости по сравнению с 2019 годом на 0,1 процентный пункт с 8,2% до 8,3% исключительно за счет включения в государственный лесной фонд Воронежской области защитных лесных насаждений. По данным УЛХ ВО дальнейших резервов роста данного показателя в Воронежской области до конца периода реализации Программы нет. В связи с данным обстоятельством Управлением лесного хозяйства Воронежской области с Федеральным агентством лесного хозяйства РФ было согласовано уменьшение значения показателя по плану до 8,3%, что нашло своё отражение в плановых значениях на периоды 2021 – 2022 гг.

Таблица 1 – Показатели государственной программы Воронежской области
«Развитие лесного хозяйства»
за 2020 – 2022 гг.

Наименование показателя (индикатора)	Единица измерения	2020 г.			2021 г.			2022 г.		
		Плановое значение	Фактически достигнутое значение	Степень выполнения, %	Плановое значение	Фактически достигнутое значение	Степень выполнения, %	Плановое значение	Фактически достигнутое значение	Степень выполнения, %
Лесистость территории Воронежской области	%	8,4	8,3	98,8	8,3	8,3	100	8,3	8,3	100
Объем платежей в бюджетную систему Российской Федерации от использования лесов, расположенных на землях лесного фонда, в расчете на 1 га земель лесного фонда	Руб	629,8	528,9	84,0	590,0	575,3	97,5	684,3	674,6	98,6
Отношение фактического объема заготовки древесины к установленному допустимому объему изъятия древесины	%	33,9	38,5	113,6	34,9	42,5	121,78	35,9	25,8	71,9

Показатель Программы «Объем платежей в бюджетную систему Российской Федерации от использования лесов, расположенных на землях лесного фонда, в расчете на 1 га земель лесного фонда» не выполняется в течение всего исследуемого периода. Данное обстоятельство, по пояснению Управления, обусловлено завышенным плановым значением для Воронежской области. Однако можно отметить положительные тенденции по ежегодному увеличению фактических значений данного показателя – в 2021 г. его значение увеличилось на 8,77% по сравнению с предыдущим отчетным периодом, в 2022 г. – на 17,26% по сравнению с 2021 г.

Показатель «Отношение фактического объема заготовки древесины к установленному допустимому объему изъятия древесины» не выполнен только в 2022 году, в 2020 г. данный показатель перевыполнен на 13,6%, в 2021 г – на 21,78%.

Таким образом, в 2022 г., несмотря на увеличение общего финансирования Программы на 12,1%, оказались не выполнены два показателя из трех. По показателю «Объем платежей в бюджетную систему Российской Федерации от использования лесов, расположенных на землях лесного фонда, в расчете на 1 га земель лесного фонда» плановые значения утверждаются Федеральным агентством лесного хозяйства. Корректировка значения показателя произведена Федеральным агентством лесного хозяйства 07.11.2022 г., план уменьшен и составил для Воронежской области 645,7 руб. Однако в связи с длительными сроками согласования и утверждения изменений в постановление Правительства Воронежской области от 10.12.2013 № 1077 [4], корректировка планового значения указанного показателя на 2022 год (645,7 руб.) на отчетную дату - 31.12.2022 не была утверждена. Однако фактически по данным ведомственной отчетности по форме 18-ОИП, представленной в Рослесхоз в установленном порядке, объем платежей в бюджетную систему Российской Федерации от использования лесов, расположенных на землях лесного фонда, в расчете на 1 га земель лесного фонда, за 2022 год превысил уточненный Рослесхозом план и составил 674,6 руб. или 104,48%, при этом рост по сравнению с 2021 годом составил 17,26%.

Показатель «Отношение фактического объема заготовки древесины к установленному допустимому объему изъятия древесины» в 2022 г. не выполнен в связи с тем, что Управлением расторгнуты 4 договора аренды лесных участков для заготовки древесины с лесопользователями в связи с окончанием срока их действия. Кроме того, в течение 2022 года имели место случаи отказов потребителей от древесины по договорам, заключенным посредством биржевых торгов, в связи с низким спросом на древесину и мобилизацией сотрудников, участвующих в заготовке древесины [6].

Как было отмечено выше, Программа включает две подпрограммы. Финансирование реализации подпрограммы 1 «Обеспечение использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов» за период 2020 – 2022 гг. представлено на рисунке 3.

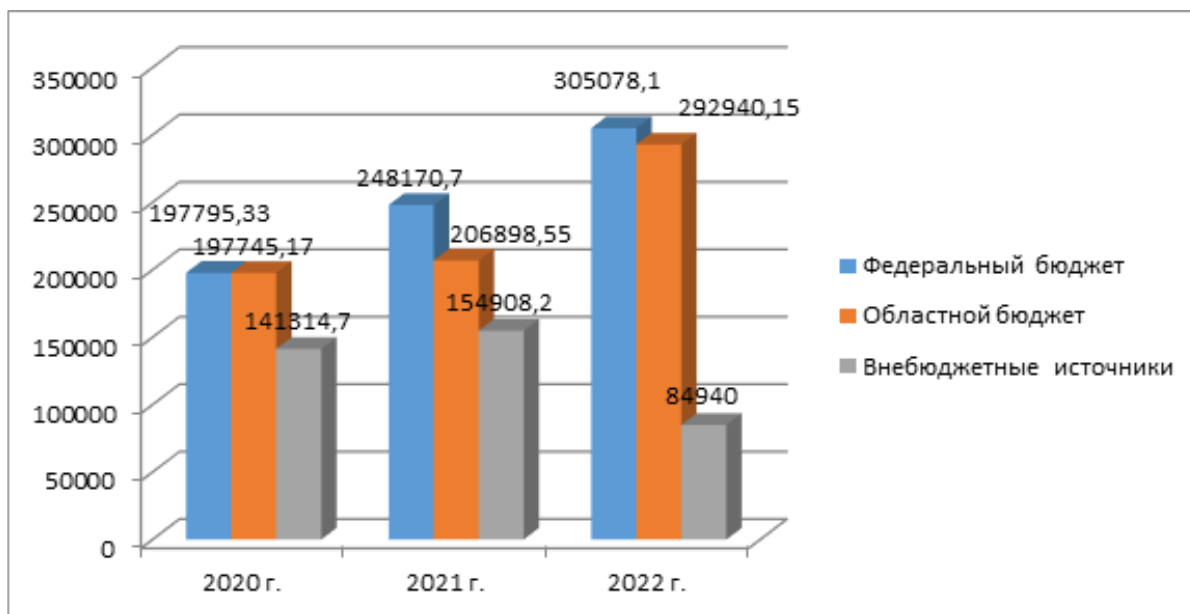


Рисунок 3 – Структура фактического финансирования подпрограммы 1 «Обеспечение использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов» Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» за 2020 – 2022 гг., тыс. руб.

Общий объем фактического финансирования к 2022 г. увеличивается – от 536855,2 тыс. руб. в 2020 г. до 682958,25 тыс. руб. в 2022 г.

Эффективность реализации подпрограммы оценивается тремя показателями, плановые и фактические значения которых за период 2020 – 2022 гг. представлены в таблице 2.

По данным таблицы 2, плановые значения всех показателей в исследуемом периоде выполнены полностью.

Финансирование реализации подпрограммы 2 «Обеспечение реализации государственной программы» за период 2020 – 2022 гг. представлено на рис. 4.

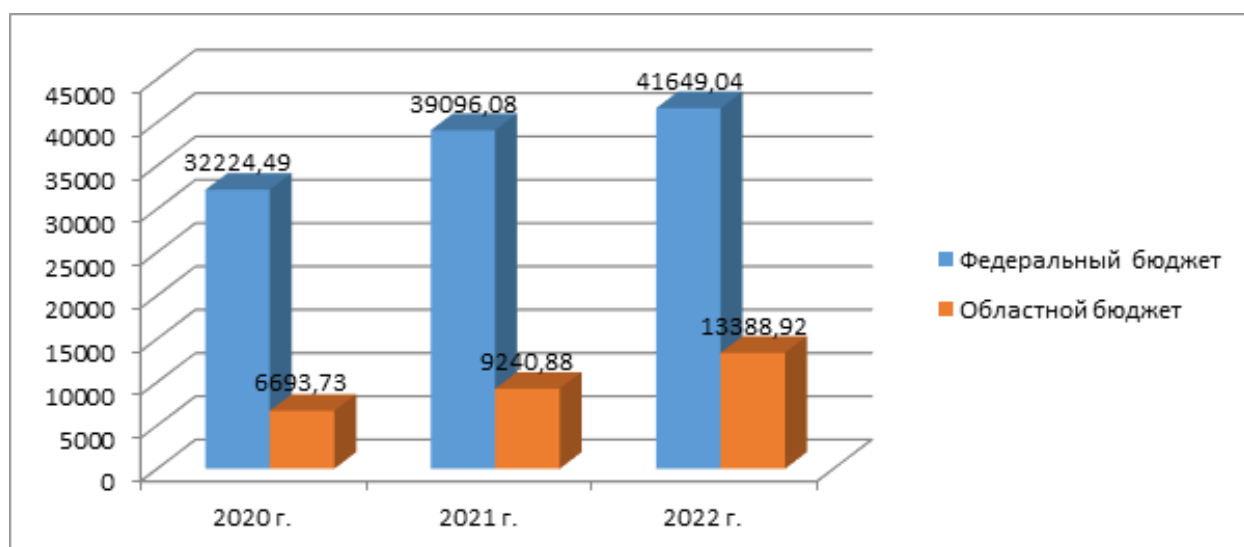


Рисунок 4 – Структура фактического финансирования подпрограммы 2 «Обеспечение реализации государственной программы» Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» за 2020 – 2022 гг., тыс. руб.

Таблица 2 – Показатели подпрограммы 1 государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» за 2020 – 2022 гг.

Наименование показателя (индикатора)	Единица измерения	2020 г.			2021 г.			2022 г.		
		Плановое значение	Фактически достигнутое значение	Степень выполнения, %	Плановое значение	Фактически достигнутое значение	Степень выполнения, %	Плановое значение	Фактически достигнутое значение	Степень выполнения, %
Доля лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения, в общем количестве лесных пожаров	%	87,5	94,2	107,7	88,3	95,2	107,8	89,1	100,0	112,2
Доля площади лесов, на которых проведена таксация лесов и в отношении которых осуществлено проектирование мероприятий по охране, защите и воспроизводству в течение последних 10 лет, в площади лесов с интенсивным использованием лесов и ведением лесного хозяйства	%	42,4	42,4	100,0	42,4	42,5	100,2	42,4	42,5	100,2

Таблица 2 – Показатели подпрограммы 1 государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства» за 2020 – 2022 гг.

Наименование показателя (индикатора)	Е д и з м	2020 г.			2021 г.			2022 г.		
		Плано вое значе ние	Факти чески достиг нутое значен ие	Степ ень выпо лнен ия, %	План овое значе ние	Факти чески достиг нутое значен ие	Степ ень выпо лнен ия, %	План овое значе ние	Факти чески достиг нутое значен ие	Степ ень выпо лнен ия, %
Отношение площади земель, отнесенных к землям, занятым лесными насаждениями (за текущий год), к площади фактической сплошной рубки за год (без учета рубки лесных насаждений, предназначенных для строительства, реконструкции и эксплуатации объектов)	%	116,7	137,2	117,6	116,7	47,2	40,4	116,7	155,3	133,1

Эффективность реализации подпрограммы оценивается показателем (индикатором) «Доля неэффективных (нецелевых) расходов, выявленных в ходе контрольных мероприятий, в общем объеме расходов». В ходе контрольных мероприятий неэффективные (нецелевые) расходы в исследуемом периоде не выявлены.

Для настоящего исследования представляет интерес одно из основных мероприятий подпрограммы 1 «Обеспечение использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов» – региональный проект «Сохранение лесов», который также является составной частью национального проекта «Экология» [7].

В 2022 году на реализацию регионального проекта «Сохранение лесов» предусмотрены средства федерального бюджета и внебюджетных средств в размере 197517,2 тыс. руб., что на 9,27% меньше уровня 2021 года (рисунок 5).

Главной целью данного проекта является сохранение лесов, в том числе на основе их воспроизводства на всех участках вырубленных и погибших лесных насаждений, поэтому показателем (индикатором) регионального проекта является «Отношение площади лесовосстановления и лесоразведения к площади вырубленных и погибших лесных насаждений».

Плановое значение данного показателя установлено на уровне 100% на каждый период реализации проекта [8, 9].

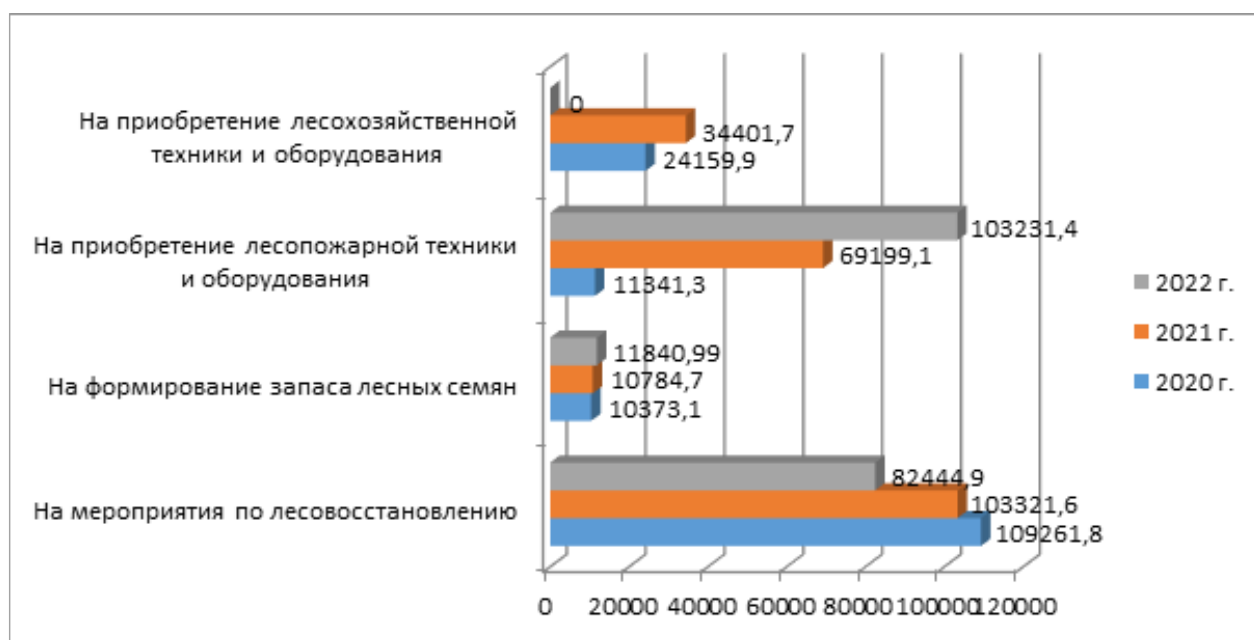


Рисунок 5 – Финансирование мероприятий регионального проекта «Сохранение лесов» в 2020 – 2022 гг., тыс. руб.

За исследуемый период фактическое значение показателя «Отношение площади лесовосстановления и лесоразведения к площади вырубленных и погибших лесных насаждений» превышает установленные плановые (рис. 6).

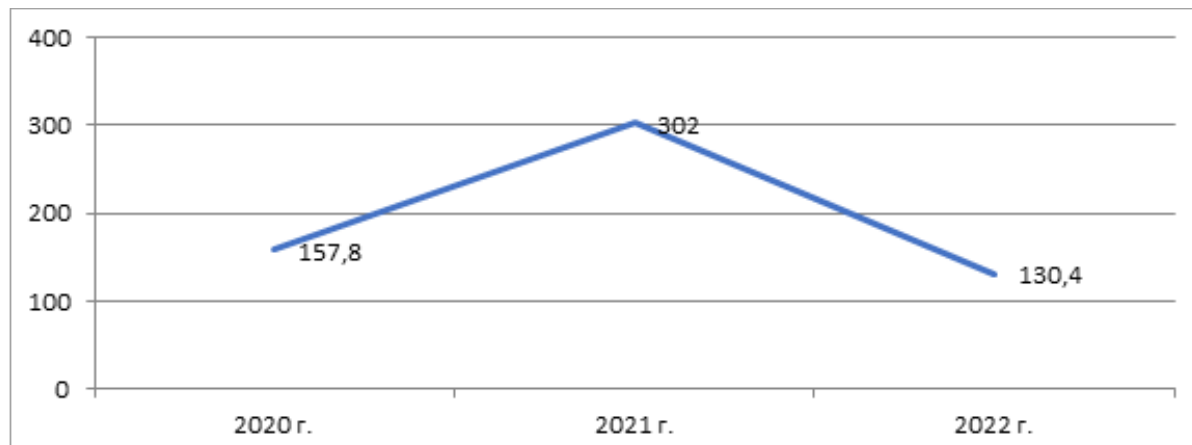


Рисунок 6 – Фактическое значение показателя «Отношение площади лесовосстановления и лесоразведения к площади вырубленных и погибших лесных насаждений» регионального проекта «Сохранение лесов» в 2020 – 2022 гг., %

Баланс выбытия и воспроизводства лесов на территории Воронежской области в 2020 г. обеспечен на 157,8%, в 2021 г. – на 302%, в 2022 г. – на 130,4%. Плановое значение показателя, утвержденное федеральным проектом, перевыполнено за счет увеличения площади лесовосстановления в ходе проведения экологических акций по посадке лесных культур за счет средств лесопользователей, общественных организаций. На перевыполнение планового

значения показателя в 2021 г. также повлияло уточнение Методики расчета показателя, утвержденное приказом Рослесхоза от 30.07.2021 №614 [10].

Считаем, что основные показатели проектной деятельности должны быть учтены при оценке эффективности деятельности исполнительного органа государственной власти Воронежской области в сфере лесного хозяйства и лесных отношений, так как они являются одной из результирующих составляющих его функционирования и развития.

4. Заключение

В результате проведенного исследования выявлены следующие моменты в проектной деятельности исполнительного органа государственной власти Воронежской области в сфере лесного хозяйства и лесных отношений – УЛХ ВО:

1. Возникновение необходимости пересмотра и изменения плановых значений отдельных показателей Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства». Данное обстоятельство свидетельствует о существовании неточностей при принятии решений на федеральном уровне и приводит к снижению эффективности проектной деятельности исполнительного органа государственной власти.

2. Длительные сроки согласования и утверждения изменений в действующие нормативно правовые акты при изменениях значений показателей негативно влияет на достижение плановых значений показателей Программы и, как следствие, на эффективность проектной деятельности управления лесного хозяйства Воронежской области.

3. При оценке эффективности деятельности управления лесного хозяйства Воронежской области не учитываются основные показатели Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства», учтены только два показателя из Программы: Отношение площади лесовосстановления и лесоразведения к площади вырубленных и погибших лесных насаждений (показатель основного мероприятия 1.7. «Региональный проект «Сохранение лесов»); Доля лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения, в общем количестве лесных пожаров (показатель подпрограммы 1 «Обеспечение использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов» Государственной программы Воронежской области «Развитие лесного хозяйства»). Данное обстоятельство не позволяет в должной степени отследить уровень достижения поставленных целей проектной деятельности.

Устранение указанных недостатков позволит провести качественную и объективную оценку проектной деятельности Управления лесного хозяйства Воронежской области, а также в целом позволит принимать своевременные управленческие решения для повышения эффективности деятельности исполнительного органа государственной власти Воронежской области в сфере лесного хозяйства и лесных отношений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000012-7

«Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)».

The study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000012-7 "Biogeochemical monitoring of the carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)").

Список литературы

1. КонсультантПлюс онлайн - Некоммерческие интернет-версии системы Консультант-Плюс. Постановление Правительства РФ от 31.10.2018 г. №1288 (ред. от 02.08.2023) «Об организации проектной деятельности в Правительстве Российской Федерации». Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_310151/?ysclid=Indmgyfyde381664404
2. Проектное управление в органах власти : учебник для вузов / Г. М. Кадырова, С. Г. Еремин, А. И. Галкин ; под редакцией С. Е. Прокофьева. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 263 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15222-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/519707>
3. КонсультантПлюс онлайн - Некоммерческие интернет-версии системы Консультант-Плюс. «Бюджетный кодекс Российской Федерации» от 31.07.1998 N 145-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023) Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_377162/
4. Консорциум Кодекс – Электронный фонд актуальных правовых и нормативно-технических документов. Постановление Правительства РФ от 26.05.2021 г. №786 «О системе управления государственными программами Российской Федерации» (с изменениями на 2 августа 2023 года) (редакция, действующая с 1 октября 2023 года) Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/603677013?ysclid=Indplxddy550021757>
5. Консорциум Кодекс – Электронный фонд актуальных правовых и нормативно-технических документов. Постановление Правительства Воронежской области от 10.12.2013 № 1077 «Государственная программа Воронежской области «Развитие лесного хозяйства». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/460219062?ysclid=Inhurenpxr599416822>
6. Пояснительная записка к отчету о выполнении Плана реализации государственной программы Воронежской области "Развитие лесного хозяйства". Режим доступа: <https://www.govvrn.ru/>
7. Национальный проект «Экология». Режим доступа: <https://ecologyofrussia.ru/proekt/?ysclid=lni4cpkda5964759453>

8. Паспорт федерального проекта «Сохранение лесов» национального проекта «Экология». Режим доступа: https://economy.samregion.ru/upload/iblock/4fd/Pasport-FP-Sokhranenie-lesov-_red.-ot-21.12.18_.pdf
9. Паспорт регионального проекта «Сохранение лесов». Режим доступа: https://ksp-vrn.ru/upload/iblock/4c8/ajh7lhmkjodycmzurcs9kopt65h0ocr7/GA_RP_Sokhranenie_lesov_Voronezhskaya_oblast_.pdf?ysclid=lni1au9c318492240
10. Гарант – Информационно-правовой портал. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 30 июля 2021 г. N 614 "Об утверждении Методики расчета показателя "Отношение площади лесовосстановления и лесоразведения к площади вырубленных и погибших лесных насаждений" федерального проекта "Сохранение лесов" национального проекта "Экология" и признании утратившими силу приказов Федерального агентства лесного хозяйства от 28 марта 2019 года N 471 и от 25 января 2021 года N 20" Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402573446/?ysclid=lni13t3oen407811086>

References

1. Consultant Plus online - Non-commercial Internet versions of the Consultant-Plus system. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 31.10.2018 No. 1288 (ed. dated 02.08.2023) "On the organization of project activities in the Government of the Russian Federation". Access mode: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_310151/?ysclid=Indmgyfyde381664404
2. Project management in government : textbook for universities / G. M. Kadyrova, S. G. Eremin, A. I. Galkin ; edited by S. E. Prokofiev. — Moscow : Yurayt Publishing House, 2023. — 263 p. — (Higher education). — ISBN 978-5-534-15222-7. — Text : electronic // Yurayt Educational Platform [website]. — URL: <https://urait.ru/bcode/519707>
3. Consultant Plus online - Non-commercial Internet versions of the Consultant-Plus system. "Budget Code of the Russian Federation" dated 31.07.1998 N 145-FZ (as amended on 04.08.2023) (with amendments and additions, intro. effective from 01.09.2023) Access mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_377162/
4. The Codex Consortium is an electronic fund of up-to-date legal and regulatory documents. Decree of the Government of the Russian Federation No. 786 dated 05/26/2021 "On the Management System of State Programs of the Russian Federation" (as amended on August 2, 2023) (revision effective from October 1, 2023) Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/603677013?ysclid=Indplxddy550021757>
5. The Codex Consortium is an electronic fund of up-to-date legal and regulatory documents. Resolution of the Government of the Voronezh Region dated 10.12.2013 No. 1077 "State Program of the Voronezh Region "Development of

- forestry". Access mode:<https://docs.cntd.ru/document/460219062?ysclid=lnhurenpxr599416822>.
6. Explanatory note to the report on the implementation of the Implementation Plan of the state program of the Voronezh region "Forestry Development". Access mode:<https://www.govvrn.ru/>
 7. National project "Ecology". Access mode:<https://ecologyofrussia.ru/proekt/?ysclid=lni4cpkda5964759453>
 8. Passport of the federal project "Forest Conservation" of the national project "Ecology". Access mode:https://economy.samregion.ru/upload/iblock/4fd/Pasport-FP-Sokhranenie-lesov-_red.-ot-21.12.18_.pdf
 9. Passport of the regional project "Forest conservation". Access mode:https://kspvrn.ru/upload/iblock/4c8/ajh7lhmkjodycmzurcs9kopt65h0ocr7/GA_RP_Soxraneni_e_lesov_Voronezhskaya_oblast_.pdf?ysclid=lni1au9c318492240
 10. Garant is an information and legal portal. Order of the Federal Forestry Agency No. 614 dated July 30, 2021 "On approval of the Methodology for calculating the indicator "Ratio of the area of reforestation and Afforestation to the Area of Felled and dead forest stands" of the federal project "Conservation of Forests" of the national project "Ecology" and the Recognition of invalid orders of the Federal Forestry Agency dated March 28, 2019 No. 471 and from January 25, 2021 N 20" Access mode: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402573446/?ysclid=lni13t3oen407811086>

Степанова Ю.Н., Третьяков А.Г.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж
Санкт-Петербургский
Научно-исследовательский институт Лесного хозяйства,
г. Санкт-Петербург*

Система информационного обеспечения государственного управления лесами: проблемы и пути их решения

Аннотация. В статье раскрыты вопросы информационного обеспечения системы государственного управления лесами, а именно существующие проблемы и пути их решения. Отсутствие и недостоверность информации о лесных ресурсах, привело к невозможности проведения их оценки при инвентаризации лесов, формировании кадастра и проведении экологического мониторинга. В дополнении, проблемой является недоступность лесоустроительной информации для потенциального пользователя, арендатора участков земель лесного фонда. Отсутствие актуальной информации в системе государственной регистрации, сбора, передачи, накопления и хранения данных о количественных и качественных характеристиках состояния лесов влияет не только на тенденции изменения в состоянии лесов, но и выражается в неверных оценках поглощающей способности лесов. Таким образом, чтобы осознать подлинную ценность лесов России, необходимо пересмотреть подходы к получению базовой учетной информации о лесных ресурсах.

Ключевые слова: управляемые леса, депонирование углерода, парниковые газы.

Stepanova Yu.N., Tretyakov A.G.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh
St. Petersburg Research Institute Forestry,
St. Petersburg*

Information system for state forest management: problems and ways to solve them

Abstract. The article reveals the issues of information support for the state forest management system, namely the existing problems and ways to solve them. The lack and unreliability of information about forest resources has led to the impossibility of their assessment during forest inventory, formation of the cadastre and environmental monitoring. In addition, the problem is the inaccessibility of forest

inventory information for a potential user, a tenant of forest land plots. The lack of up-to-date information in the system of state registration, collection, transfer, accumulation and storage of data on the quantitative and qualitative characteristics of the state of forests affects not only the trends in changes in the state of forests, but is also expressed in incorrect estimates of the absorbing capacity of forests. Thus, in order to realize the true value of Russia's forests, it is necessary to reconsider the approaches to obtaining basic accounting information about forest resources.

Key words: managed forests, carbon deposition, greenhouse gases.

Российская Федерация является обладателем одного из крупнейших запасов лесных ресурсов. На ее долю приходится около четверти всех мировых запасов леса. Данное обстоятельство свидетельствует о высоком потенциале отечественного лесного комплекса, эффективная реализация которого обеспечит динамичное развитие и процветание государства на долгие годы [4]. Вместе с тем, существующая ситуация в лесном комплексе не позволяет ему в полной мере реализовать собственный потенциал. Одной из проблем, препятствующих эффективному функционированию национального лесного комплекса, является отсутствие современной информационной системы и методологии учета лесных ресурсов.

Как показывает современная практика, необходимость внедрения и развития цифровых технологий в лесном комплексе подтверждается реализацией Россией Парижского соглашения по климату, в соответствии с которым необходимо проводить полный и прозрачный учет не только лесных ресурсов, но и поглощающей способности национальных лесов.

Сегодня, основным способом учета ценности и инвентаризации лесов в России являются полевые исследования, которые содержат систематические ошибки, связанные не только с учетом лесных ресурсов, но с оценкой возраста лесов, что приводит к невозможности определения темпов роста леса.

Тектонический сдвиг в процессах модернизации информационного обеспечения лесного комплекса начался в ходе реализации Стратегии развития лесного комплекса до 2030 года. Необходимость интеграции и обмена данными, полученными при помощи космического, дистанционного и авиационного мониторинга, в части учета земель лесного фонда и состояния лесных ресурсов является важным фактором, обеспечивающим эффективное государственное управление лесами [6].

Процесс цифровой трансформации лесного комплекса определил переход от фиксации данных в бумажных документах к ведению цифровых реестровых баз данных, что позволило отказаться от дублирующей и излишней информации.

В соответствии с новой цифровой концепцией, система информационного обеспечения государственного управления лесами включает в себя два кардинально новых аспекта. Первое, это формирование цифрового государственного лесного реестра (ГЛР), с ответственным оператором в лице Федерального агентства лесного хозяйства РФ. Второе, это формирование федеральной государственной информационной системы лесного комплекса с функционалом фиксации всей потоковой цепочки движения древесины, от

момента ее заготовки на лесосеке до точки производства продукции или вывоза за рубеж, включая такие промежуточные этапы, как транспортная логистика и цифровой контроль сопроводительных документов.

Успешный опыт реализации системы информационного обеспечения в сфере управления лесами имеют такие страны как США, Великобритания, Австралия, Китай. Одна из самых масштабных систем информационного обеспечения различных экосистем включая леса NEON (США) основана на технологии искусственного интеллекта. Система аккумулирует огромное количество площадок наблюдения, формирует базы данных, которые через удобный интерфейс загрузки данных Web-сайта, доступны всем заинтересованным пользователям, включая государственные органы управления лесами и представителей бизнеса.

Система информационного обеспечения ECN (Великобритания) включает в себя более 100 площадок, наблюдение на которых ведется более чем по 200 показателей. После загрузки и обработки данных происходит их ежедневное, еженедельное, ежемесячное и ежегодное резервное копирование. Управление лесами осуществляется через созданный дата-центр. База ECN открыта для онлайн-просмотра данных о состоянии лесных ресурсов и окружающей среды, а также гидрологических биологических данных.

Система TERENCE (Австралия), представляет собой наземную сеть наблюдений за лесами и окружающей средой. Система информационного обеспечения создана с использованием децентрализованной инфраструктуры. Она включает в себя различные базы данных, в том числе WebGIS, обеспечивая сбор данных, хранение исходных данных, и возможность визуализации данных.

Облачная система информационного обеспечения CERN (Китай) основана на модели электронной коммерции B2B2C. Принцип создания базы данных, основан на том, что авторизованному пользователю системы присваивается статус покупателя, то есть клиента. Клиент может заказывать информационные продукты, запрашивать, отображать и добавлять данные в корзину. В то же время администратор может посмотреть заказ и разделить продукты в корзине. На CERN сформировано более 600 баз данных, которые включают результаты полевых исследований, данные наблюдений за потоками углерода, азота и воды в Китае, а также метеорологические данные, данные о результатах научных исследований и научно-технических проектов. Построение базы данных осуществляется на принципах ER модели. ER-модель — модель данных, позволяющая описывать концептуальные схемы предметной области. ER-модель используется при высокоуровневом проектировании баз данных [1]. С её помощью можно выделить ключевые сущности и обозначить связи, которые могут устанавливаться между этими сущностями. Далее, построение диаграммы отношений сущностей, позволяет поместить в систему, элементы, которые необходимо разработать, четко описать и создать модель данных. В итоге, создание модели данных может быть использовано для разработки последующей информационной платформы. Таким образом, любой заинтересованный пользователь получает доступ к экологическим данным и данным о лесных ресурсах.

Итак, как уже было отмечено ранее, с принятием Стратегии развития лесного комплекса на период до 2030 года работа по цифровизации в данной сфере приобрела системный характер. В рамках комплексных проектов намечено развитие механизмов лесовосстановления и создания лесных питомников, обновление перерабатывающей инфраструктуры и расширение сети лесных дорог. Ведутся работы по оцифровке и систематизации сведения о лесах. Проводится внедрение цифровых решений производственные процессы, связанные с заготовкой леса, транспортировкой, хранением и переработкой древесины, продукции из нее. В лесном комплексе появляются первые попытки использования беспилотных летательных аппаратов на системной основе. Как показала практика, у дронов широкий спектр применения: от инвентаризации лесов и мониторинга пожарной опасности до борьбы с насекомыми-вредителями [2]. О первых шагах по реализации масштабных задач, поставленных отраслевой стратегией, можно судить на примере десятков проектов, которые ведутся в лесном комплексе.

Результаты первой практики реализации масштабных задач цифровизации лесного комплекса представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Этапы цифровой трансформации лесного комплекса

Первым шагом цифровой трансформации лесного комплекса было создание и внедрение системы централизованного учета древесины ЛесЕГАИС, которая стартовала в январе 2016 года. Оформление электронного сопроводительного документа на каждую партию древесины позволило снизить объемы незаконных рубок древесины в 2,5 раза.

Получив первые результаты, были сделаны выводы о том, что функционал ЛесЕГАИС не способен обеспечить потенциальных инвесторов достоверной информацией о состоянии лесных участков в субъектах РФ на которых можно

было бы реализовывать инвестиционные проекты. В дополнение, данные по охране, защите, состоянию, воспроизводству лесов часто не являются достоверными, так как основываются на источниках 20-25-летней давности.

Правительством РФ в целях эффективного цифрового государственного управления лесами и обеспечения заинтересованных лиц актуальными данными о состоянии лесного фонда страны в 2023 году была разработана концепция создания федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК) которая заменит ЛесЕГАИС.

Каркасом ФГИС ЛК стало создание единой платформы для обеспечения информационно-аналитической поддержки деятельности участников лесных отношений. По заявлениям разработчиков охват системы составит более 500 типов процессов по учету, использованию, охране, защите и воспроизводству лесов. В систему включены данные более 50 млн., объектов учета пространственных данных. К концу 2023 года планируется завершить оцифровку данных всех границ лесничеств на территории РФ. Система будет обеспечивать открытый доступ участников лесных отношений к электронным лесным картам. Одним из важных аспектов системы является формирование Единого государственного лесного реестра Федерального уровня с функционалом учета более 1,19 млрд. га лесного фонда. Реестр будет выполнять не только функцию учета, но и функцию контроля за незаконной вырубкой леса, за счет включения навигационной информации от лесовозов и лесозаготовительной техники, которая оснащена системой ГЛОНАСС.

Единый реестр позволит оптимизировать оказание Госуслуг в электронной форме и выстроить современную модель лесоуправления. Всего по России реестр охватит около 45 млн. лесных выделов, информация по каждому их них будет сгруппирована по 23 критериям.

Масштабная трансформация информационной системы государственного управления лесами запустила параллельные процессы изменения лесного законодательства. В Лесной кодекс России будут внесены новые нормы, регламентирующие использование ФГИС ЛК в части контроля над оборотом древесины, пресечения незаконной лесозаготовки, обеспечения качественного учета лесных ресурсов.

Введение новой главы в ЛК «Государственный лесной реестр» будет регламентировать список документации, необходимой для управления в сфере лесных отношений и учету достоверной информации о лесах, их использовании, охране и защите [5].

Федеральным оператором государственного лесного реестра назначено Федеральное агентство лесного хозяйства. Первый этап внедрения в РФ Единого государственного лесного реестра начнется 1 сентября 2023 года с запуска в Московской, Архангельской и Ульяновской области, до конца года реестр должен заработать в 60 регионах РФ.

Таким образом, комплексный и системный подход к созданию, обработке и хранению информации позволит увеличить вклад лесного комплекса в экономику страны, не только за счет эффективного государственного

управления, но и за счет реализации лесных климатических проектов, которые в скором времени станут ключевыми в глобальной экологической повестке [3].

Список литературы

1. Барейко, С.Н. Роль информатизации и цифровизации лесного комплекса в обеспечении экономической безопасности России / С.Н. Барейко, С.К. Кравченко // Наука Красноярья. – 2021. - Том 10, № 4. - С.92-105. DOI: 10.12731/2070-7568-2021-10-4-92-105
2. Куликова, О.В. Внедрение современных механизмов осуществления мониторинговой деятельности в лесном секторе экономики / О.В. Куликова // Сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции, в рамках IV Всероссийского научно-общественного форума «Экологический форсайт». Саратов. - 2022. - С.140-143.
3. Матвеев, С.М. Цифровые технологии в лесной отрасли / С.М. Матвеев, В.А. Славский, А.В. Мироненко // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2022. - С.8-13.
4. Чекунов, А.С. Государственная поддержка импортозамещения в лесопромышленном комплексе Российской Федерации как необходимое условие устойчивого развития отрасли / А.С. Чекунов // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. - 2021. - С.103-117.
5. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 01.09.2023 г.) / Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/902017047>
6. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 11.02.2021 г. № 312-п) / Режим доступа – <https://docs.cntd.ru/document/573658653>.

References

1. Bareiko, S.N. The role of informatization and digitalization of the forest complex in ensuring economic security of Russia / S.N. Bareiko, S.K. Kravchenko // Science of Krasnoyarsk. – 2021.- Volume 10, No. 4. - pp.92-105. DOI: 10.12731/2070-7568-2021-10-4-92-105
2. Kulikova, O.V. Introduction of modern mechanisms for monitoring activities in the forest sector of the economy / O.V. Kulikova // Collection of scientific papers of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference, within the framework of the IV All-Russian Scientific and Public Forum "Ecological Foresight". Saratov. - 2022. - p.140-143.

3. Matveev, S.M. Digital technologies in the forest industry / S.M. Matveev, V.A. Slavsky, A.V. Mironenko // Materials of the All-Russian Scientific and practical Conference. Voronezh, 2022. - pp.8-13.
4. Chekunov, A.S. State support for import substitution in the timber industry of the Russian Federation as a necessary condition for sustainable development of the industry / A.S. Chekunov // Izvestiya Far Eastern Federal University. Economics and management. - 2021. - pp.103-117.
5. Forest Code of the Russian Federation No. 200-FZ dated 04.12.2006 (as amended on 01.09.2023) / Access mode <https://docs.cntd.ru/document/902017047>
6. The Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030 (approved by the Decree of the Government of the Russian Federation No. 312-r dated 11.02.2021). Access mode – <https://docs.cntd.ru/document/573658653>.

Яковенко Н.В., Колотушкин А.А.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Экологическая ценность лесных ресурсов и ее учет

Аннотация. В статье раскрыта необходимость экономического учета экологической ценности лесов. Показано, что учет природных ресурсов проводился для многих ресурсов, но в настоящее время важно провести дополнительную работу по учету лесных площадей. Дана характеристика основных методов, которые могут быть применены для учета экологической ценности лесов.

Обосновано, что стоимостной учет лесных ресурсов дает возможность определить экологическую и экономическую ценность в соответствии с фактической ситуацией.

Ключевые слова: лесные ресурсы, экологическая ценность, учет, методы

Yakovenko N.V., Kolotushkin A.A.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Ecological value of forest resources and its accounting

Abstract. The necessity of economic accounting of the ecological value of forests has been revealed. It is shown that natural resource accounting has been done for many resources, but it is now important to do more work on forest area accounting. The main methods that can be applied to account for the ecological value of forests have been characterised. It is substantiated that the cost accounting of forest resources makes it possible to determine the ecological and economic value according to the actual situation.

Keywords: forest resources, ecological value, accounting, methods

Леса поддерживают экологический баланс и системы жизнеобеспечения, которые необходимы для производства продовольствия, здоровья, а также общего развития человечества. Услуги лесного хозяйства невидимы и не учитывались из-за пренебрежения ценностью его ресурсов. Это приводит к большой утрате биоразнообразия, что может привести к риску стихийных бедствий. Глобальная озабоченность по поводу деградации и истощения лесов

связана с двумя основными проблемами: уничтожением поглотителей углерода, влияющих на глобальный климат, и исчезновением видов, влияющих на биоразнообразие. Следовательно, это требует немедленных действий на теоретическом и прикладном уровне. Учет лесов в определенной степени помогает смягчить эту проблему. Учет лесов имеет различные аспекты, и одним из важных аспектов является его экологическая классификация. Учет лесов - это сложное явление, включающее невидимые услуги экосистемы и преобразование их в экономические термины [9]

Учет природных ресурсов тесно связан с эколого-экономическим учетом. Учет природных ресурсов означает инвентаризацию природных ресурсов и отслеживание изменений в них, вызванных природными процессами или использованием человеком. В литературе показано, что учет природных ресурсов проводился для многих ресурсов, но в настоящее время важно провести дополнительную работу по учету лесных площадей [8].

Существуют различные методы оценки лесов, такие как:

- *Метод первоначальной стоимости:* стоимость представляется как сумма всех накопленных инвестиционных, управленческих и эксплуатационных затрат.
- *Метод рыночной цены:* стоимость определяется путем суммы всех накопленных инвестиционных, управленческих и эксплуатационных расходов с учетом затрат, которые могли бы возникнуть, если бы лес пришлось создавать вновь при текущих рыночных условиях, т.е. текущей рыночной цены или восстановительной стоимости.
- *Метод дисконтированных денежных потоков:* метод, который используется для оценки привлекательности инвестиционной возможности. Основу этого метода составляют прогнозы будущих свободных денежных потоков, дисконтируемые для получения оценки текущей стоимости, и в дальнейшем используемой для оценки потенциала инвестиций.
- *Методы оценки реальных опционов:* методы применяют при принятии решений о капитальном планировании, то есть возможность предпринимать определенные бизнес-инициативы, такие как отсрочка, отказ, расширение, постановка на стадию или заключение контракта на капитальный инвестиционный проект. [11].
- *Анализ чувствительности:* метод, который используется для определения того, как различные значения независимой переменной влияют на конкретную зависимую переменную при заданном наборе допущений. Этот метод также полезен при оценке лесов, поскольку параметры оценки лесов, такие как цена лесной продукции, ставка дисконтирования, продолжительность севооборота, допущения о росте и урожайности, а также предполагаемый режим управления лесом, чрезвычайно чувствительны [10,12]. В данной методике оценки при оценке учитываются чувствительные факторы лесных ресурсов.

Экологическая ценность является неотъемлемой частью ценности лесных ресурсов. Учет ценности лесных ресурсов должен включать их экологическую ценность, а также их экономическую и социальную значимость. Такой учет дает

возможность понять фактическую ценность лесных ресурсов и обеспечивает информационную поддержку для разработки соответствующей лесной политики [2, 3].

Для того чтобы рассчитать экологическую ценность лесных ресурсов, необходимо иметь данные материального учета лесных ресурсов. Проведение материального учета и стоимостного учета лесных ресурсов является одним из основных элементов составления баланса природных ресурсов. Структура баланса лесных ресурсов по этой теме должна быть разделена на экономические леса и неэкономические леса. Поскольку экологическая среда, в которой был разработан долговой проект, повреждена, трудно отразить количество материала, и долг не учитывается в масштабе материала. Для хозяйственных лесов в основном учитываются площадь и урожайность, в то время как для неэкономических лесов следует учитывать плотность кроны, удельный объем и другие показатели.

Существует три вида познания природной ценности: экономическая ценность, экологическая ценность и социальная ценность. Что касается лесных ресурсов, то, как только они поступают на рынок и создают экономическую ценность, это означает, что они были вырублены и больше не имеют экологической ценности. Хотя все виды ландшафтных лесов имеют экономическую ценность, они по-прежнему имеют экологическую ценность.

При стоимостном учете лесных ресурсов экологическая и экономическая ценности должны определяться с учетом фактической ситуации [8].

Методы учета экономической ценности

(а) метод учета экономической ценности. Экономическая ценность лесных ресурсов может быть рассчитана различными способами в зависимости от их зрелости. Для зрелых деревьев и лесных ресурсов, которые могут быть срублены и использованы, будь то искусственный лес или естественный лес, расчет стоимости основан на рыночной цене различных лесных товаров. Для незрелых лесных ресурсов текущая цена искусственного леса рассчитывается на основе стоимости облесения на каждом этапе. Ценность естественного леса оценивается по стоимости облесения плантаций того же типа и зрелости.

(б) учет стоимости зрелых лесов. Предполагается, что цена различных лесных товаров зрелого леса равна p_{ij} , i представляет породу леса, j представляет тип лесных товаров,

(в) учет стоимости незрелых лесных ресурсов. Предполагается, что стоимость выращивания незрелой лесной плантации равна S_{ki} , k обозначает лесные породы плантации., i представляет возраст выращивания плантации,

В настоящее время считается, что экологические функции лесных ресурсов в основном включают очистку воздуха, сохранение водных ресурсов, регулирование климата, поглощение отходов (таких как углекислый газ), распространение семян, защиту от ультрафиолета, защиту от ветра и песка и сохранение биоразнообразия. Согласно последней спецификации оценки функций лесных экосистемных услуг GB/T 38582-2020, опубликованной в марте 2020 года, функции лесных экосистем делятся на услуги по расходованию средств, услуги по регулированию, услуги по снабжению и культурные услуги.

Расходные услуги включают в себя охрану почв и сохранение питательных веществ в лесах

Услуги по регулированию включают в себя сохранение водных ресурсов, фиксацию углерода и выделение кислорода, очистку атмосферной среды и защиту лесов. Услуги по снабжению включают в себя обеспечение биоразнообразия и лесной продукции. Культурные услуги в основном связаны с охраной лесов.

Основываясь на приведенном выше анализе экологической ценности лесных ресурсов, считаем, что предложение лесной продукции - это, главным образом, экономическая ценность лесных ресурсов, а здоровье лесов в большей степени соответствует социальной ценности лесных ресурсов (Zhang et al., 2020).

Таким образом, экосистемные функции лесов обеспечивают качество окружающей среды на различных уровнях: глобальном, национальном или региональном (значительная территория с некоторой общностью природных условий) и местном (ландшафтном). При оценке экологические особенности лесов существенно влияют на денежную стоимость лесов.

Следовательно, неизбежно проведение детальной экологической классификации лесов. Экологически диверсифицированные леса имеют большую денежную ценность, поскольку они обеспечивают диверсификацию лесной продукции. Поэтому при ведении лесного учета важное значение имеет анализ экологических элементов леса. Учет лесов помогает выявить утрату биоразнообразия и снизить риск стихийных бедствий.

Список литературы

1. Большаков В.Н., Корытин Н.С., Кряжимский Ф.В., Шишмарев В.М. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем. М.: Экология. -1998. - № 5.- С. 339-448.
2. Гарбузова Т.Г. Основные направления инновационной деятельности в лесопромышленном комплексе России / Т. Г. Гарбузова, И. А. Захаренкова // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: Сборник научных статей III международной научной конференции, Казань, 30–31 марта 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2021. – С. 222-223.
3. Гарбузова Т. Г. Устойчивое управление лесами как действенный инструмент сохранения лесного биоразнообразия / Т. Г. Гарбузова // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы третьей международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 23–24 мая 2018 года / Под редакцией В.М. Гедьо. Том 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2018. – С. 270-273.
4. Кожухов Н.И. Экономика воспроизводства лесных ресурсов. -М.: Лесн. пром-сть, 1988. -262 с.
5. Лебедев Ю.В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования. - Екатеринбург: УрО РАН, 2011. -574 с.

6. Лебедев Ю.В., Копылова Ю.Ю., Потравный И.М. Учет фактора времени при оценке долговременного эффекта средоформирующих функций леса // Экономика природопользования. - 2003. - №1. - С. 32–43.
7. Grammatikopoulou I., Vackarova, D. (2021). The value of forest ecosystem services: A meta-analysis at the European scale and application to national ecosystem accounting. *Ecosystem Services*, 48. 101262.
8. He Zhu a, Yan Liang a, Zhaoyang Li a, Chuanbao Qiu. Theory and Method of Ecological Value Accounting of Forest Resources. *Journal of Economic Statistics*. 2023. 1(1). 45-67.
9. Love, P E D., Zhou, J., Matthews, J. et al. (2016). Systems information modelling: Enabling digital asset management. *Advances in Engineering Software*, 102: 155 - 165.
10. Patil, P.J. (2019). Forest Accounting and Sustainability. In: Nayak, A. (eds) *Transition Strategies for Sustainable Community Systems. The Anthropocene: Politik—Economics—Society—Science*, vol 26. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00356-2_15
11. The value of forest ecosystem services: A meta-analysis at the European scale and application to national ecosystem accounting. *Ecosystem Services*. 2021. Vol. 48. pp. 101262. DOI: 10.1016/j.ecoser.2021.101262.]
12. Wagniere, S., 2011: *Forest Valuation: A Knowledge-Based View* (St. Gallen: University of St. Gallen).

References

1. Bolshakov V.N., Korytin N.S., Kryazhimsky F.V., Shishmarev V.M. A new approach to assessing the value of biotic components of ecosystems. M.: Ecology. -1998. - No. 5. - pp. 339-448.
2. Garbuzova T.G. The main directions of innovation activity in the timber industry complex of Russia / T. G. Garbuzova, I. A. Zakharenkova // Priority directions of innovation activity in industry: Collection of scientific articles of the III International Scientific Conference, Kazan, March 30-31, 2021. – Kazan: Limited Liability Company "ENVELOPE", 2021. – pp. 222-223.
3. Garbuzova T. G. Sustainable forest management as an effective tool for preserving forest biodiversity / T. G. Garbuzova // *Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education: Proceedings of the Third International Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, May 23-24, 2018* / Edited by V.M. Gedyo. Volume 2. – St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, 2018. – pp. 270-273.
4. Kozhukhov N.I. Economics of reproduction of forest resources. -M.: Forestry industry, 1988. -262 p.
5. Lebedev Yu.V. Assessment of forest ecosystems in the economics of nature management. -Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2011. -574 p.
6. Lebedev Yu.V., Kopylova Yu.Yu., Potravny I.M. Taking into account the time factor in assessing the long-term effect of the forest's environmental-forming

- functions //The economics of environmental management. - 2003. -No. 1. - pp. 32-43.
7. Grammatikopoulou I., Vackarova, D. (2021). The value of forest ecosystem services: A meta-analysis at the European scale and application to national ecosystem accounting. *Ecosystem Services*, 48. 101262.
 8. He Zhu a, Yan Liang a, Zhaoyang Li a, Chuanbao Qiu. Theory and Method of Ecological Value Accounting of Forest Resources. *Journal of Economic Statistics*. 2023. 1(1). 45-67.
 9. Love, P E D., Zhou, J., Matthews, J. et al. (2016). Systems information modelling: Enabling digital asset management. *Advances in Engineering Software*, 102: 155 - 165.
 10. Patil, P.J. (2019). Forest Accounting and Sustainability. In: Nayak, A. (eds) *Transition Strategies for Sustainable Community Systems. The Anthropocene: Politik—Economics—Society—Science*, vol 26. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00356-2_15
 11. The value of forest ecosystem services: A meta-analysis at the European scale and application to national ecosystem accounting. *Ecosystem Services*. 2021. Vol. 48. pp. 101262. DOI: 10.1016/j.ecoser.2021.101262.]
 12. Wagniere, S., 2011: *Forest Valuation: A Knowledge-Based View* (St. Gallen: University of St. Gallen).

СЕКЦИЯ 3. ЛЕСОУСТРОЙСТВО: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ. ЛЕСНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

DOI: 10.58168/Forestry2023_355-362

УДК 502.051

**Камалова Н.С., Крутских Ю.В.,
Майорова Т.Л., Евсикова Н.Ю.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

К вопросу о перераспределении зарядов в древесине ствола березы

Аннотация. В статье для построения концептуальной модели процессов перераспределения зарядов по объему ствола дерева анализировались данные дневных измерений разности потенциалов вдоль стволов особей березы повислой (*Betula pendula*) и вдоль их радиусов. В результате обработки данных мониторинга выяснилось, что исследуемые величины нелинейно возрастают с ростом температуры окружающей среды и существенно зависят от влажности ствола. Анализ полученных зависимостей позволяет обосновать концептуальную модель, согласно которой флуктуации температуры окружающей среды через изменение подвижности ионов солей в системе водного баланса дерева и формирования термополяризационного электрического поля вдоль радиуса ствола существенно влияют на перераспределение зарядов в объеме ствола. Таким образом, измерение разности потенциалов вдоль стволов деревьев и их радиусов может лечь в основу разработки цифрового датчика для мониторинга за состоянием древостоев.

Ключевые слова: разность потенциалов, состояние древостоев, цифровые технологии.

**Kamalova N.S., Krutskikh Yu.V.,
Mayorova T.L., Evsikova N.Yu.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh*

On the issue of redistribution of charges in the wood of a birch trunk

Abstract. In the article, to construct a conceptual model of the processes of charge redistribution throughout the volume of a tree trunk, data from daily measurements of the potential difference along the trunks of silver birch (*Betula*

pendula) individuals and along their radii were analyzed. As a result of processing the monitoring data, it turned out that the studied values increase nonlinearly with increasing ambient temperature and significantly depend on the humidity of the trunk. Analysis of the obtained dependencies allows us to substantiate the conceptual model according to which fluctuations in ambient temperature through changes in the mobility of salt ions in the tree's water balance system and the formation of a thermopolarization electric field along the radius of the trunk significantly affect the redistribution of charges in the volume of the trunk. Thus, measuring the potential difference along tree trunks and their radii can form the basis for the development of a digital sensor for monitoring the condition of tree stands.

Keywords: potential difference, state of forest stands, digital technologies.

1. Введение

В настоящее время задача мониторинга состояния лесных массивов в виду учащения природных (пожаров, затоплений) и техногенных катастроф приобретает глобальный характер [1-3]. Этот вопрос особенно актуален, например, для Воронежской области, расположенной в лесостепной зоне, где имеются лесонасаждения, критическое состояние которых может существенно повлиять как на лесосеменной фонд региона, так и страны в целом. Поэтому разработка информационных систем контроля за состоянием лесов может существенно улучшить точность прогноза чрезвычайных ситуаций [4-5]. Необходимо понимать, что формирование таких систем невозможно без моделирования процессов в стволах деревьев. Адекватное описание принципов перераспределения влаги в процессе жизнеобеспечения древесных растений, как базовых элементов лесных массивов, существенно расширит сферу возможностей измерительных приборов, разрабатываемых для оценки их состояния с контролируемой точностью [6-8].

Проблема формирования такого описания и разработки моделей состоит в сложности самого объекта исследования. Деревья, как микроэкосистемы, характеризуются многоаспектностью и неоднозначностью восприятия наблюдателями. Они являются биологическими, физическими и экологическими объектами с точки зрения лесоведения, материаловедения и природопользования, соответственно. При этом параметры их состояния тоже существенно различаются. Поэтому необходимы средства измерения [7-9], которые могли бы с необходимой достоверностью накапливать информацию с течением времени и согласовывать результаты мониторинга с существующими системами представления о древостоях.

Развитие цифровых технологий позволяет надеяться на возможность реализации решения этой проблемы на практике [10-12]. Такие свойства цифровых приборов, как совместимость с компьютерами и адаптивность формируемых ими сигналов для передачи на большие расстояния через существующие средства связи, приобретают особую значимость для организации глобальных современных систем экологической безопасности [13-15].

В рамках такого подхода в настоящей статье предлагается формирование базовой концепции потоковой системы перераспределения зарядов в стволах деревьев при изменении температуры и влажности окружающей среды.

2. Материалы и методы

В работе анализируются результаты измерений разности потенциалов вдоль стволов (U_C) и их радиусов (U_R) в особях березы повислой (*Betula pendula*) – породы, образующей производные лесные экосистемы в Центральной лесостепи Российской Федерации, проведенных с помощью цифрового мультиметра МУ 62. Исследуемые деревья росли в одних и тех же лесорастительных условиях и характеризовались относительно одинаковыми таксационными показателями: возраст – 55 лет, бонитет – III, жизненное состояние – 2 и 7 [16-17]. Вдоль ствола измерения осуществлялись для исключения контактной разности потенциалов между стальными электродами, заглубленными в ствол на половину радиуса на высотах 1,3 м и 3,5 м от поверхности земли. Динамика величин U_C и U_R в течение дня (см. рис. 1) выявила их корреляцию с изменением температуры окружающей среды, что позволило выдвинуть предположение об их взаимосвязи.

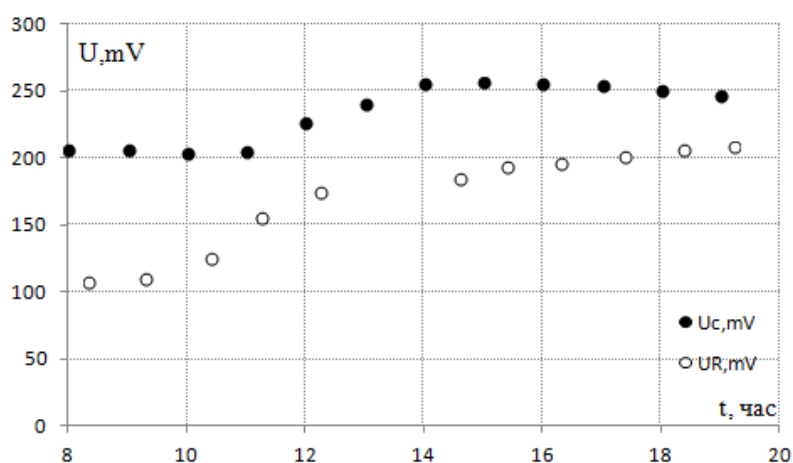


Рис. 1. Типичное изменение величины разности потенциалов вдоль ствола U_C и вдоль радиуса ствола U_R при увеличении температуры окружающей среды.

Кроме того, выяснилось, что разность потенциалов при увеличении температуры окружающей среды в первой половине дня стремится с течением времени к некоторой практически постоянной величине, которая может быть измерена цифровым вольтметром. При этом было выявлено, что абсолютная величина измеряемых разностей потенциалов существенно зависит от влажности зрелой древесины ствола. Таким образом, цифровой вольтметр способен фиксировать с контролируемой точностью величину разности потенциалов, которая определяется изменением температуры окружающей среды и влажностью ствола. Следовательно, существует способ конвертации состояния дерева в динамику изменения разности потенциалов вдоль ствола и вдоль его радиуса.

Важно понимать, что нисходящие флоэмные токи, изменение которых при флуктуациях окружающей среды в настоящий момент активно исследуется,

тоже во многом определяются влагооборотом в древостое. Поэтому в аксиоматику системного моделирования было положено такое явление, как потоки зарядов в системе водного баланса деревьев.

3. Результаты и их обсуждение

При разработке концепции для моделирования процесса перераспределения зарядов в такой сложной микроэкосистеме, как дерево, необходимо учитывать, что в настоящее время его практически невозможно описать существующими средствами физико-математического моделирования в целом. При этом не подлежит сомнению, что участвующая в водном балансе дерева влага является раствором. Поэтому исследуемый процесс фактически является процессом перераспределения ионов солей по объему ствола под влиянием флуктуаций температуры и влажности окружающей среды и слабо моделируемых внутренних факторов. На следующем этапе описания целесообразно разделить нисходящие флоэмные потоки и разветвленные потоки в зрелой древесине ствола (см. рис. 2), поскольку они формируются при различных внешних обстоятельствах и выполняют в системе различные задачи.

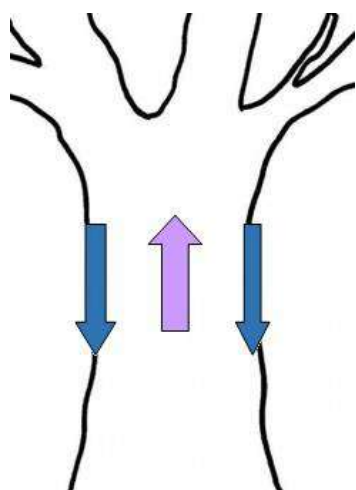


Рис. 2. Схема потоков растворов солей в стволе дерева: флоэмный нисходящий поток (синего цвета), поток в зрелой древесине ствола (сиреневый).

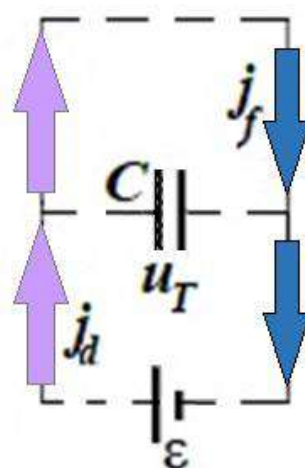


Рис. 3. Схема потоков перераспределения зарядов, соответствующих нисходящим и восходящим потокам в стволе дерева.

Эти потоки воспринимаются как отдельные и являются частью многоконтурной системы водного баланса в стволе дерева. Однако, в микроэкосистеме биогеоценоза дерева они замкнуты в круговорот. Следовательно, на первом этапе системного моделирования можно выделить контур, в котором плотности токов ионов солей станут характеристиками некоторой схемы перераспределения зарядов (см. рис. 3). Исходя из этого предположения для плотности j_f флоэмных нисходящих токов ионов солей можно записать соотношение

$$j_f = q_f \mu_f n_f E, \quad (1)$$

где μ_f – подвижность ионов солей со средним зарядом q_f во флоэмных потоках, n_f – их концентрация, E – напряженность электрического поля, обусловленная

работой электродвижущей силы ε химических реакций по разделению зарядов в биогеоценозе (распад микроэлементов на ионы солей в корневой системе). Аналогично выглядит формула плотности тока ионов в потоке растворов в зрелой древесине ствола:

$$j_f = q_d \mu_d n_d E, \quad (2)$$

где μ_d – подвижность ионов солей со средним зарядом q_d в потоках в зрелой древесине ствола, n_d – их концентрация. В соотношениях (1) и (2) плотности токов процессов перераспределения электрических зарядов во многом определяются подвижностью, которая зависит от температуры в системе и концентрации носителей заряда. Поэтому флуктуации температуры окружающей среды через изменение подвижности ионов и формирование термополяризованного электрического поля вдоль радиуса ствола существенно влияют на перераспределение зарядов в системе водного баланса. А степень этого влияния определяется особенностями дерева, как микроэкосистемы.

4. Заключение

Таким образом, в работе представлена концепция потоковой системы перераспределения зарядов в стволах деревьев при изменении температуры окружающей среды. Проведенные исследования показывают принципиальную возможность применения для исследования состояния деревьев цифровых приборов, измеряющих формирующиеся в результате взаимодействия сложной системы водного баланса дерева с окружающей средой разности потенциалов вдоль стволов и вдоль их радиусов. Это дает основания уверенно полагать, что мониторинг за состоянием древостоев целесообразно осуществлять с помощью цифровых приборов.

Список литературы

1. Toochi E C 2017 Forest and environment: developments in global change ecology. *Forest Res. Eng. Int. J.* **1**(3) 100 doi: 10.15406/freij.2017.01.00016
2. Hill S L L, Arnell A, Maney C, Butchart Stuart H M, Hilton-Taylor C, Ciciarelli C, Davis C, Dinerstein E, Purvis A and Burgess N D 2019 Measuring Forest Biodiversity Status and Changes Globally. *Front. For. and Glob. Change* **2** 70 doi: 10.3389/ffgc.2019.00070
3. Mori A S, Lertzman K P and Gustafsson L 2017 Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *J. Appl. Ecol.* **54** 12 doi: 10.1111/1365-2664.12669
4. Ganthaler A, Sailer J, Bär A, Losso A and Mayr S 2019 Noninvasive Analysis of Tree Stems by Electrical Resistivity Tomography: Unraveling the Effects of Temperature, Water Status, and Electrode Installation. *Front. Plant Sci.* **10** 1455 doi: 10.3389/fpls.2019.01455
5. Badea O, Silaghi D, Taut I, Neagu S and Leca S 2013 Forest Monitoring – Assessment, Analysis and Warning System for Forest Ecosystem Status. *Not. Bot. Horti Agrobi.* **41**(2) 613 doi: 10.15835/nbha4129304

6. Argañaraz J P, Landi M A, Scavuzzo C M and Bellis L M 2018 Determining fuel moisture thresholds to assess wildfire hazard: A contribution to an operational early warning system. *PLoS One* **13(10)** e0204889 doi: 10.1371/journal.pone.0204889
7. Toledo-Castro J, Caballero-Gil P, Rodriguez-Pérez N, Santos-González I, Hernández-Goya C and Aguasca-Colomo R 2018 Forest fire prevention, detection, and fighting based on fuzzy logic and wireless sensor networks. *Hindawi Complexity* **2018** 1639715 doi: 10.1155/2018/1639715
8. Царалунга В В, Царалунга А В , Короткая А В 2020 Проблема выявления и назначения в рубку аварийных деревьев на территории гослесфонда. *Лесотехнический журнал* **10** № 3(39) 86 doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/9
9. Bio Instruments S.R.L. 2020 Update date: 02.02.2020, available at: <https://phyto-sensor.com/PTM-48A.ru> (Date of the application: 14.02.2021)
10. Wang H, Guan H, Guyot A, Simmons C T and Lockington D A 2016 Quantifying sapwood width for three Australian native species using electrical resistivity tomography. *Ecohydrol.* **9** 83 <https://doi.org/10.1002/eco.1612>
11. Al Hagrey S A 2005 Electrical resistivity imaging of tree trunks. *Near Surf. Geophys.* **4(3)** 179 <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2005043>
12. Fensom D S 1966 On measuring electrical resistence in situ in higher plants. *Can. J. Plant Sci.* **46** 169
13. Paysen T, Narog M and Zavala M 1993 Monitoring Electrical Resistance in Canyon Live Oak Using a Shigometer. *Proc. Symp. on Ecology and Management of Oak and Associated Woodlands: Perspectives in the Southwestern* (United States and New Mexico Symposium, April 27-30, 1992 Sierra Vista, AZ) 199
14. Gil P M, Gurovich L A, Schaffer B, Alcayaga J and Iturriaga R 2011 Electrical signal measurements in avocado trees: A potential tool for monitoring physiological responses to soil water content? *Acta Hort.* **889** 371 doi: 10.17660/ActaHortic.2011.889.45
15. Gibert D, Le Mouel J-L, Lambs L, Nicollin F and Perrier F 2006 Sap flow and daily electric potential variations in a tree trunk. *Plant Sci.* **171** 572 doi: 10.1016/j.plantsci.2006.06.012
16. Matveev N N , Rychkov A A , Kamalova N S , Evsikova N Yu 2019 The possible mechanism for the water transport in the tree trunks in early spring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* V. 226. 012047. doi 10.1088/1755-1315/226/1/012047
17. Евсикова Н Ю, Матвеев Н Н, Корчагин О М, Камалова Н С, Заплетин В Ю 2008 Сканирование электрического поля в стволах древесных растений как метод выявления жизненного состояния. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал* № 6 43

References

1. Toochi E C 2017 Forest and environment: developments in global change ecology. *Forest Res. Eng. Int. J.* **1(3)** 100 doi: 10.15406/freij.2017.01.00016

2. Hill S L L, Arnell A, Maney C, Butchart Stuart H M, Hilton-Taylor C, Ciciarelli C, Davis C, Dinerstein E, Purvis A and Burgess N D 2019 Measuring Forest Biodiversity Status and Changes Globally. *Front. For. and Glob. Change* **2** 70 doi: 10.3389/ffgc.2019.00070
3. Mori A S, Lertzman K P and Gustafsson L 2017 Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *J. Appl. Ecol.* **54** 12 doi: 10.1111/1365-2664.12669
4. Ganthaler A, Sailer J, Bär A, Losso A and Mayr S 2019 Noninvasive Analysis of Tree Stems by Electrical Resistivity Tomography: Unraveling the Effects of Temperature, Water Status, and Electrode Installation. *Front. Plant Sci.* **10** 1455 doi: 10.3389/fpls.2019.01455
5. Badea O, Silaghi D, Taut I, Neagu S and Leca S 2013 Forest Monitoring – Assessment, Analysis and Warning System for Forest Ecosystem Status. *Not. Bot. Horti Agrobi.* **41**(2) 613 doi: 10.15835/nbha4129304
6. Argañaraz J P, Landi M A, Scavuzzo C M and Bellis L M 2018 Determining fuel moisture thresholds to assess wildfire hazard: A contribution to an operational early warning system. *PLoS One* **13**(10) e0204889 doi: 10.1371/journal.pone.0204889
7. Toledo-Castro J, Caballero-Gil P, Rodriguez-Pérez N, Santos-González I, Hernández-Goya C and Aguasca-Colomo R 2018 Forest fire prevention, detection, and fighting based on fuzzy logic and wireless sensor networks. *Hindawi Complexity* **2018** 1639715 doi: 10.1155/2018/1639715
8. Tsaralunga V V, Tsaralunga A V, Korotkaya A V 2020 The problem to identify and assign the logging of emergency trees in the territory of state forest fund. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering Journal]* **10** No 3(39) 86 doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/9 [in Russian]
9. Bio Instruments S.R.L. 2020 Update date: 02.02.2020, available at: <https://phyto-sensor.com/PTM-48A.ru> (Date of the application: 14.02.2021)
10. Wang H, Guan H, Guyot A, Simmons C T and Lockington D A 2016 Quantifying sapwood width for three Australian native species using electrical resistivity tomography. *Ecohydrol.* **9** 83 <https://doi.org/10.1002/eco.1612>
11. Al Hagrey S A 2005 Electrical resistivity imaging of tree trunks. *Near Surf. Geophys.* **4**(3) 179 <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2005043>
12. Fensom D S 1966 On measuring electrical resistans in situ in higher plants. *Can. J. Plant Sci.* **46** 169
13. Paysen T, Narog M and Zavala M 1993 Monitoring Electrical Resistance in Canyon Live Oak Using a Shigometer. *Proc. Symp. on Ecology and Management of Oak and Associated Woodlands: Perspectives in the Southwestern* (United States and New Mexico Symposium, April 27-30, 1992 Sierra Vista, AZ) 199
14. Gil P M, Gurovich L A, Schaffer B, Alcayaga J and Iturriaga R 2011 Electrical signal measurements in avocado trees: A potential tool for monitoring physiological responses to soil water content? *Acta Hort.* **889** 371 doi: 10.17660/ActaHortic.2011.889.45

15. Gibert D, Le Mouel J-L, Lambs L, Nicollin F and Perrier F 2006 Sap flow and daily electric potential variations in a tree trunk. *Plant Sci.* **171** 572 doi: 10.1016/j.plantsci.2006.06.012
16. Matveev N N, Rychkov A A, Kamalova N S, Evsikova N Yu 2019 The possible mechanism for the water transport in the tree trunks in early spring. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* **226** 012047 doi: 10.1088/1755-1315/226/1/012047
17. Evsikova N Yu, Matveev N N, Korchagin O M, Kamalova N S and Zapletin V Yu 2008 Scanning of Electric Field in Wooden Plant Stems as Method of Exposing Living State *Lesnoy Zhurnal [Forestry Journal]* **6** 43 [in Russian]

**Лисицын В.И., Матвеев Н.Н., Евсикова Н.Ю.,
Камалова Н.С., Внукова С.В.**
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Динамика роста дубовых древостоев: эколого-физиологическая модель

Аннотация. Получена динамика хода роста общей биомассы насаждения дуба семенного для первых пяти бонитетов. Для этого использована аналитическая эколого-физиологическая модель, разработанная авторами данной работы ранее. Подчеркивается, что эта модель имеет термодинамическое обоснование. Показано, что с ростом бонитета параметр модели, описывающий удельную скорость расхода ресурса, сначала убывает при малых бонитетах, а затем возрастает, что указывает на нелинейную зависимость этого параметра от условий произрастания. Параметры модели, отвечающие за связь площади поверхности особей и биомассы, не зависят от бонитета. Качество модели оценивалось безразмерным критерием эффективности Нэша-Сатклиффа.

Ключевые слова: дубовый древостой, динамика роста, эколого-физиологическая модель, бонитет, критерий Нэша-Сатклиффа.⁴⁹

Благодарности

Исследования выполнены в рамках гранта, предоставленного Воронежским государственным лесотехническим университетом имени Г. Ф. Морозова на проект «Термодинамическое обоснование моделирования динамики роста древостоев».

**Lisitsyn V.I., Matveev N.N., Evsikova N.Yu.,
Kamalova N.S., Vnukova S.V.**
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Growth Dynamics of Oak Stands: The Ecological and Physiological Model

Abstract. The growth course of the seed oak plantations total biomass dynamics has obtained for the first five gradations. For this, an analytical ecological-physiological model developed earlier by the authors of this work was used. It is emphasized that the model has a thermodynamic substantiation. It is shown that the model parameter that describes the specific rate of resource consumption first decreases at low yields, and then increases with increasing yield. That indicates a non-linear dependence of this parameter on growth conditions. The model parameters

responsible for the relationship between the surface area of individuals and biomass do not depend on quality. The quality of the model has evaluated by the dimensionless Nash-Sutcliffe efficiency criterion.

Key words: oak stands, growth dynamics, ecological and physiological model, bonitet, Nash-Sutcliffe criterion.

Acknowledgments

The research was carried out within the framework of a grant provided by the Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov for the project "Thermodynamic justification of modeling the dynamics of growth of stands".

1. Введение

Биомасса лесов является одной из основных характеристик, определяющих ход процессов в лесных экосистемах. Экологический мониторинг, способы устойчивого ведения лесного хозяйства, моделирование продуктивности лесов с учетом глобальных изменений климата, изучение структуры и биоразнообразия лесного покрова, оценка углероддепонирующей ёмкости лесов – задачи, решать которые необходимо, имея возможно более точную информацию о биомассе в течение всего жизненного цикла древостоев. Системный характер вышеуказанных проблем приводит к применению методов современного системного анализа, в котором моделирование рассматривается как основной способ получения информации об изучаемых объектах вместе с приобретением новых знаний о них на основе модельных экспериментов.

Одной из важных задач, для решения которых необходим системный подход, является моделирование динамики лесных экосистем. К настоящему времени в лесоводстве используется множество моделей различного уровня как по содержанию, так и по глубине раскрытия проблем, большинство которых не содержат признаков применения системного анализа. В этой связи особо следует подчеркнуть возможность использования обучаемых программ, в частности применение обобщенных аддитивных моделей (GAM) [1], где безусловно используется системный метод. Методика GAM позволяет анализировать влияние каждой отдельной переменной на зависимую переменную при фиксированных значениях всех остальных переменных, при этом GAM может моделировать очень сложные нелинейные взаимосвязи, когда число потенциальных предикторов велико, чем выгодно отличается от моделей, в которых используется традиционный регрессионный анализ [2]. Подчеркивая важность модели GAM для выявления связей между предикторными и зависимыми переменными, мы тем не менее обращаем внимание на тот факт, что методологически и идеологически этот подход работает в рамках «эмпирического» метода.

С нашей точки зрения, весьма важными для понимания причинно-следственных связей и раскрытия общих законов живого и неживого мира являются эколого-физиологические модели. Сложность процессов, протекающих в природных биоценозах, взаимодействий, подлежащих отображению, недостаточность нашего знания о них предполагает, как указано

выше, применение системного подхода, в частности методов формализованного моделирования. Эколого-физиологические модели принято разделять на аналитические [3-5], имитационные [6-7] и аналитико-имитационные [8-10]. Такая систематизация моделей достаточно условна, возможны и другие классификации, которые принципиально не изменяют смысл методов и подходов к эколого-физиологическому моделированию. Аналитические модели являются «объясняющими» моделями, их параметры и переменные имеют ясный физический смысл. В области неживой природы наличие фундаментальных физических представлений значительно упрощает моделирование как самих систем (например, сложных механизмов, оптических или радиосистем и т.д.), так и способов анализа функции отклика на колебания физических характеристик окружающей среды. Для построения эколого-физиологических моделей, как и для «регрессионных», необходимо множество эмпирических данных, но для аналитических эколого-физиологических моделей они необходимы, как правило, только для сравнения рассчитанных и экспериментальных значений. Именно поэтому применение аналитических моделей для анализа влияния условий внешней среды и внутренних факторов несомненно более предпочтительно.

В работах [3-4] с применением формализованного моделирования нами разработана новая эколого-физиологическая модель. Эта модель была обоснована с точки зрения термодинамики открытых систем. Качество расчетов параметров модели динамики роста для полных (нормальных) сосновых насаждений контролировалась критерием эффективности Нэша-Сатклиффа [11]. В настоящей работе наша эколого-физиологическая модель применена для моделирования динамики роста дубового семенного древостоя. Выбор именно дубового древостоя обусловлен несколькими причинами.

- 1) Практически все работы, посвященные моделированию динамики роста дубовых древостоев, выполнены в рамках «эмпирических» моделей (см., например, [12,13,14]).
- 2) Имеющиеся достоверные данные о биомассе дубовых насаждений ограничены возрастом в 200 лет, хотя дуб относится к долгоживущим породам [15].
- 3) Мониторинг состояния лесов свидетельствует о значительном снижении здоровья дубовых древостоев [16].
- 4) Крупные дубовые деревья обеспечивают среду обитания для широкого спектра видов животных и насекомых, кроме того, они являются важным атрибутом ландшафта, особенно возрастные дубовые деревья [16].

2. Материалы и методы

В процессе роста древостоя со временем биомасса насаждения M достигает максимального значения. Это означает, что в данной системе достигнуто состояние, для которого величина M соответствует условию (1)

$$\frac{dM}{dt} = 0 \text{ при } t = t_{max} . \quad (1)$$

Такое состояние экосистемы указывает на то, что в системе наблюдается стационарный режим [17], при котором соблюдается баланс энтропии и энергии. Для биомассы насаждения имеем соотношение (2)

$$M = mN, \quad (2)$$

где m – биомасса особи (отдельного дерева), N – число деревьев на гектар.

Используя закон сохранения энергии (баланс энергии), Берталанффи [18] получил уравнение, описывающее динамику роста отдельной особи (3)

$$\frac{dm}{dt} = fgm^q - rm, \quad (3)$$

где f – удельная скорость поглощения ресурса; параметр модели g определяется из соотношения между биомассой и площадью поверхности насаждения $F = g(mN)^q$, r – удельная скорость расхода ресурса. Общее решение этого уравнения хорошо известно [3,4,16] и имеет вид (4)

$$m(t) = \left(\exp(-r(1-q)t) \left(m_0^{1-q} - \frac{fg}{r} \right) + \frac{fg}{r} \right)^{\frac{1}{1-q}}. \quad (4)$$

Для числа деревьев на гектар в работах [3,4] получено следующее уравнение (5)

$$\frac{dN(e)}{dt} = (-f_1g_1m^{q_1-1} + r)N(t). \quad (5)$$

Вводятся обозначения (6):

$$\begin{aligned} c_1 &= m_0^{1-q} - \frac{fg}{r}; \quad c_2 = \frac{fg}{r}; \quad c_1 = m_0^{1-q} - c_2; \\ a &= r(1-q); \quad p = \frac{r}{a}; \quad p = \frac{1}{1-q}; \quad c_2 = m_\infty^{\frac{1}{p}}, \quad \beta = \frac{c_1}{c_2} = \frac{rm_0^{1-q}}{fg} - 1; \\ c_{1N} &= m_0^{1-q_1} - \frac{f_1g_1}{r}; \quad c_{2N} = \frac{f_1g_1}{r}; \quad c_{1N} = m_0^{1-q_1} - c_{2N}; \\ a_1 &= r(1-q_1); \quad p_1 = \frac{r}{a_1}; \quad p_1 = \frac{1}{1-q_1}; \quad c_{2N} = m_\infty^{\frac{1}{p_1}}, \quad \beta_1 = \frac{c_{1N}}{c_{2N}} = \frac{rm_0^{1-q_1}}{f_1g_1} - 1. \end{aligned} \quad (6)$$

В соотношениях (6) первые две строки относятся к биомассе особи, вторые две строки к числу деревьев на гектар. Решение уравнения (5) с учетом принятых обозначений (6) имеет вид (7):

$$N(t) = N_0 \frac{(c_{2N} + c_{1N})^{p_1}}{(c_{2N} + c_{1N} \exp(-a_1 t))^{p_1}}, \quad \text{или} \quad N(t) = N_0 \frac{(1 + \beta_1)^{p_1}}{(1 + \beta_1 \exp(-a_1 t))^{p_1}} \quad (7)$$

Решение уравнения (4) в новых обозначениях переписывается в аналогичном виде (8), удобном для анализа решения:

$$m(t) = (c_2 + c_1 \exp(-at))^p \quad \text{или} \quad m(t) = m_\infty (1 + \beta \exp(-at))^p \quad (8)$$

В соответствии с нашими выражениями в (6) параметры модели для $m(t)$ и $N(t)$ различны, хотя и близки по значению друг к другу. Они связаны между собой условием максимума биомассы насаждения (9)

$$\frac{dM(t_{max})}{dt} = \left(\frac{p_1 a_1 \beta_1}{\beta_1 + \exp(a_1 t_{max})} - \frac{p a \beta}{\beta + \exp(at_{max})} \right) = 0. \quad (9)$$

Из уравнения (9) находим t_{max} (10), которое выражается через с параметры модели:

$$t_{max} = \frac{1}{a - a_1} \ln \frac{\beta}{\beta_1} \quad (10)$$

Так как время, соответствующее максимальному значению биомассы, находится из таблиц динамики биологической продуктивности насаждений, и начальные значения $(m_0, N_0,)$ в модели считаются заданными, то параметры модели β_1 и β определяются из конечных значений $(m_\infty, N_\infty,)$. В результате для построения эколого-физиологической модели требуется три независимых параметра:

1) m_∞ – максимально значение биомассы особи, (соответственное значение N_∞ определялось из условия:

$$N_\infty = \frac{M^*}{m_\infty},$$

где M^* – значение биомассы насаждения для максимального значения времени в таблицах динамики биологической продуктивности насаждений);

2) r – скорость расхода ресурса;

3) q – фактор, связывающий площадь и биомассу организма.

3. Результаты и их обсуждение

Как отмечалось выше, несмотря на большое количество исследований, посвященное дубовым древостоям [2,12-16,20], имеющиеся достоверные данные о биомассе дубовых насаждений ограничены возрастом в 200 лет. Приятным исключением является работа [20], где приведены значения прироста дубового древостоя до 300 лет включительно. Согласно этим данным, древостой в 300 лет не достигает максимального значения запаса древостоя, хотя и близок к нему. Прямой пропорциональности между запасом и общей биомассой насаждения нет, но, исходя из данных работы [20], можно считать, что время, соответствующее максимальному значению биомассы, наступает после 300 лет. В качестве эмпирических данных мы взяли значения для биологической продуктивности дуба семенного из таблиц Швиденко [21]. Проведя квадратичную интерполяцию по трем последним возрастам (160, 180, 200 лет), приведенным в соответствующих таблицах, были определены положения максимума биомассы дубовых семенных насаждений. Эти значения находятся в пределах от 310 до 320 лет в зависимости от бонитета древостоя, что и было использовано в нашей работе для определения параметров модели согласно уравнению (10). Как и в работах [3-4], качество модели было оценено безразмерным критерием эффективности Нэша-Сатклиффа ME [11], который традиционно используется в экологических моделях. Кроме того, рассчитывалось среднеквадратичное отклонение и относительная ошибка, которая для общей биомассы не превышала 10%. Следует заметить, что такая ошибка была получена только для ранних возрастов, где очень быстро снижалось число деревьев на гектар, а биомасса особи резко возрастала. Для возрастов древостоя начиная с 60 лет, относительная ошибка в определении общей биомассы насаждения составляла 1-3%. Результаты расчетов параметров модели приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов параметров модели критерия эффективности Нэша-Сатклиффа ME в зависимости от бонитета дубовых семенных насаждений

Боните г	q	q_1	r	$m_{\infty, T}$	t_{max}	ME		
						m	N	M
1б	0.755	0.771	0.0315	20.0	320	0.9966	0.9661	0.9856
1а	0.755	0.773	0.0295	16.5	320	0.9910	0.9471	0.9721
1	0.755	0.771	0.028	13.5	310	0.9819	0.9361	0.9592
2	0.755	0.772	0.029	8.5	320	0.9191	0.9984	0.9906
3	0.755	0.769	0.032	5.0	310	0.9432	0.9980	0.9700

На графиках (см. Рисунок 1-3) даны зависимости общей биомассы насаждения от возраста.

Из таблицы 1 видно, что параметр q , определяющий связь площади поверхности и биомассы особи, составляет 0.755. Это значение согласуется с данными работ [17,19], где приводится следующий интервал $0.66 < q < 1$

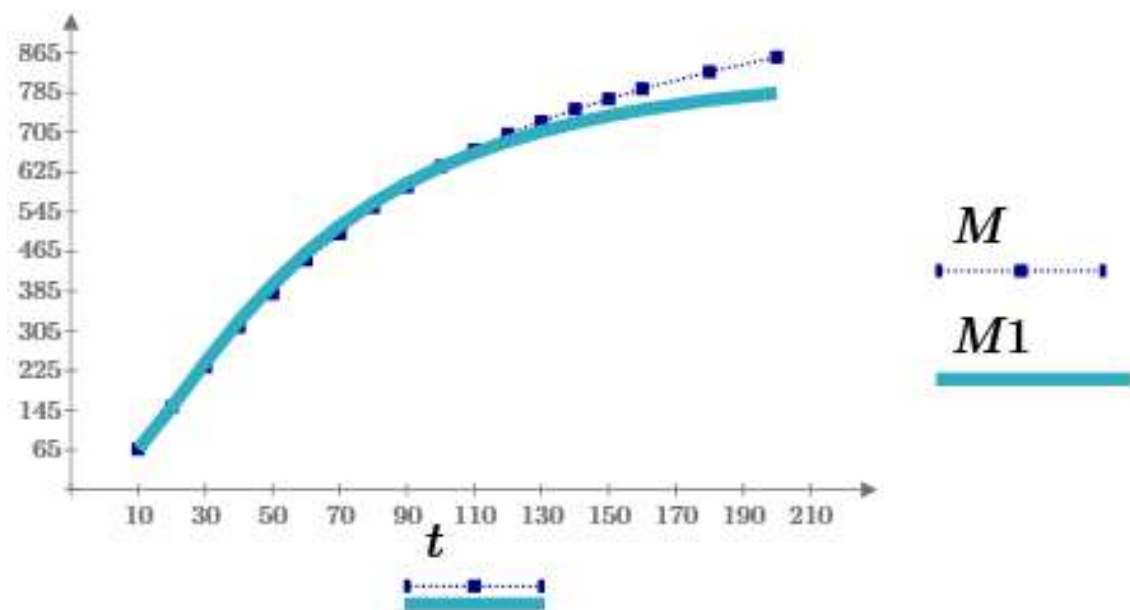


Рисунок 1. 1б бонитет. Кривая M – экспериментальные значения общей биомассы древостоя в т/га из таблиц А.З. Швиденко [21] (синие квадратики), кривая M_1 – теоретические значения, рассчитанные по эколого-физиологической модели в т/га (голубая линия), t – возраст древостоя в годах

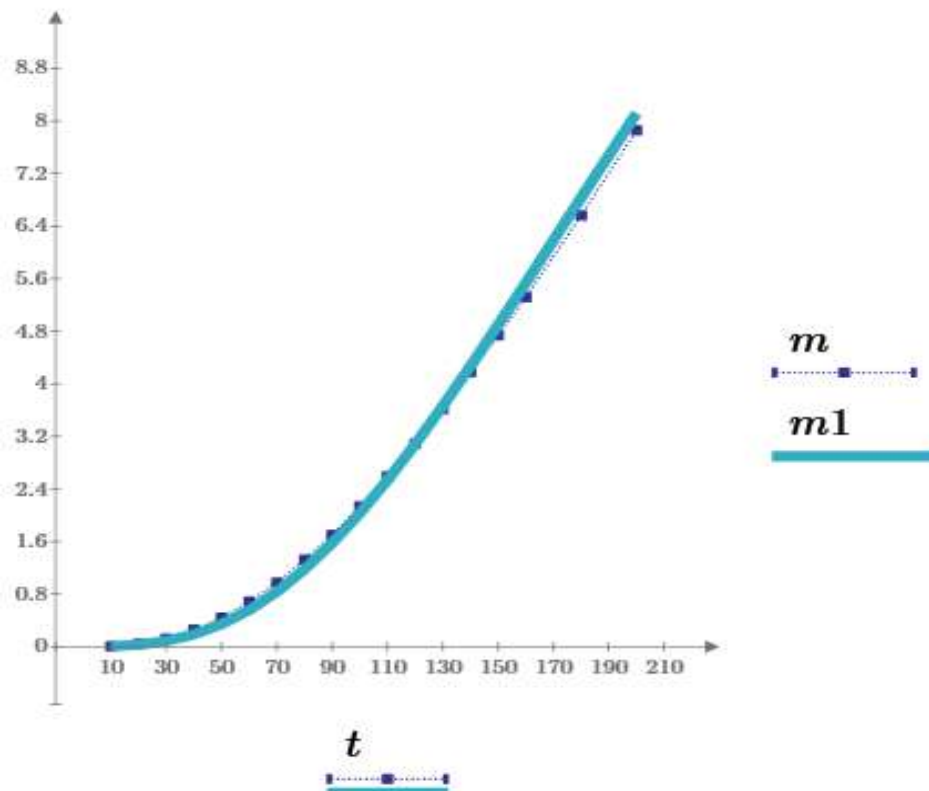


Рисунок 2. 16 бонитет. Кривая m – экспериментальные значения общей биомассы древостоя в t , определенные из таблиц А.З. Швиденко [21] (синие квадратики), кривая m_1 – теоретические значения, рассчитанные по эколого-физиологической модели в t (голубая линия), t – возраст древостоя в годах

Значение q_1 , немного отличается от соответствующего значения q , что вполне в рамках нашей модели, но в целом сохраняет независимость от бонитета. Нелинейную зависимость параметра r от бонитета можно объяснить следующим образом. При малых бонитетах расход ресурса больше для тех древостоев, у которых качество условий лучше, затем параметр r достигает минимального значения, условия произрастания ухудшаются, и требуется увеличение расхода ресурса. Наше суждение может подтвердить оценка эксергии древостоев. Значения критерия эффективности для указанных бонитетов близки к 1, т.е. качество модели близко к идеальному.

На рисунке 1 приведена зависимость общей биомассы от возраста древостоя для 16 бонитета. На рисунке 2 показана зависимость биомассы особи от возраста древостоя для 16 бонитета. На рисунке 3 демонстрируется зависимость числа стволов на гектар от возраста древостоя для 16 бонитета.

Зависимости величин M , m , N и M_1 , m_1 , N_1 от возраста для более высоких бонитетов полностью аналогичны приведенным выше, поэтому они здесь не приводятся.

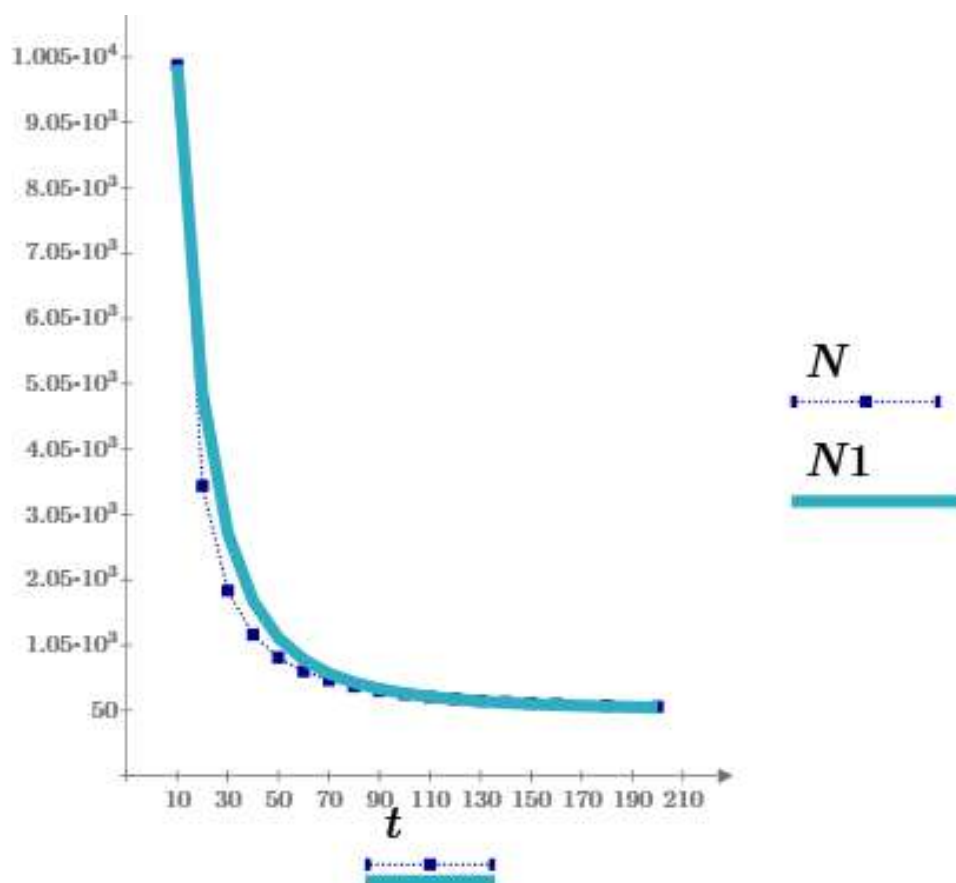


Рисунок 3. 16 бонитет. Кривая N – экспериментальные значения числа деревьев на гектар из таблиц А.З. Швиденко [21] (синие квадратики), кривая N_1 – теоретические значения числа деревьев на гектар, рассчитанные по эколого-физиологической модели (голубая линия), t – возраст древостоя в годах

4. Заключение

1. Аналитическая эколого-физиологическая модель динамики роста древостоев может использоваться для определения и анализа величин, имеющих применение в практическом лесоводстве.
2. Удельная скорость расхода ресурса нелинейным образом зависит от условий произрастания древостоя.
3. Принципиально важным для дальнейшего применения нашей аналитической эколого-физиологической модели динамики роста древостоев является определение возраста, при котором достигается максимальное значение биомассы насаждения.
4. Параметр модели, определяющий соотношение между биомассой особи и площадью поверхности не зависит от бонитета насаждения.

Список литературы

1. Hastie, T.J.; Tibshirani, R.J. Generalized Additive Models; Taylor & Francis Group: New York, NY, USA, 2017; pp. 1–335

2. Viet, H.D.X.; Tyminska-Czabanska, L.; Socha, J. Modeling the Effect of Stand Characteristics on Oak Volume Increment in Poland Using Generalized Additive Models. *Forests* **2023**, *14*, 123. <https://doi.org/10.3390/f14010123>
3. Lisitsyn V I, Drapalyuk M V and Matveev N N 2022 Modeling the Forest Stand Growth Dynamics Based on the Thermodynamic Approach. *Russian Forestry Journal* **3** 213 <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-213-225> [in Russian]
4. Lisitsyn V I, Matveev N N and Saushkin V V 2021 Ecological and physiological modelling of mixed stand dynamics. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **875** 012042 doi:10.1088/1755-1315/875/1/012042
5. Alexandrov G.A., Golitsyn G.S. Biological age from the viewpoint of the thermodynamic theory of ecological systems // *Ecological Modelling*. 2015. V. 313. № 2. P. 103–108. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2015.06.022
6. Komarov A S, Chertov O G, Mikhailov A V, Abakumov E V, Andrienko G, Andrienko N, Apps M, Bobrovsky M V, Bhatti D, Bykhovets S S, Glukhova E M, Grabarnik P Ya, Zubkova E V, Zudin S L, Zudina E V, Kubasova T S, Lukyanov A M, Martynkin A V, Moren F, Pripulina I V, Smirnov V E, Khanina L G, Shanin V N and Sho S 2007 Modeling Organic Matter Dynamics in Forest Ecosystems (Moscow: The science) p 380 http://www.knigoprovod.ru/?book_id=3570;topic_id=23 [in Russian]
7. Zhang X, Cao Q V, Wang H, Duan A and Zhang J 2020 Projecting Stand Survival and Basal Area Based on a Self-Thinning Model for Chinese Fir Plantations. *For. Sci.* **66**(3) 361 <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz086>
8. Sokolov A V, Bolondinsky V K and Voloshinov V V 2019 Technology of Balanced Identification for Selection of Pine Transpiration Mathematical Model. *Mathematical Biology and Bioinformatics* **14**(2) 665 doi: 10.17537/2019.14.665 [in Russian]
9. Ogawa K 2018 Mathematical consideration of the age-related decline in leaf biomass in forest stands under the self-thinning law. *Ecol. Modell.* **372**(C) 64 doi: 10.1016/j.ecolmodel.2018.01.015
10. Vatandaşlar C, Keleş C, Fosso L C and Karahalil U 2019 Analyzing the effects of different management strategies on forest biomass carbon loss using linear programming. *Siberian Journal of Forest Science* **1** 65 doi: 10.15372/SJFS20190106
11. Nash J E and Sutcliffe J V 1970 River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *J. Hydrology* **10**(3) 282 [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
12. H. PRETZSCH, Analysing and Modelling Forest Stand Dynamics for Practical Application - An European Review and Perspective. *Eurasian J. For. Res.* 10-1: 1-17, 2007
13. Johnson, Paul S., The ecology and silviculture of oaks./Paul S. Johnson, St. R. Shifley, R. Rogers. CAB International, 2002. 498p.
14. H. Pretzsch, P. Biber, G. SchuËtze, E. Uhl & T. RoËtzer. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *NATURE COMMUNICATIONS* | 5:4967 | DOI: 10.1038/ncomms 5967

15. Drobyshev, S. Anderson, K. Sonesson. Crown condition dynamics of oak in southern Sweden 1988–1999. *Environ Monit Assess* (2007) 134:199–210. DOI 10.1007/s10661-007-9610-9
16. Drobyshev, M. Niklasson, H Linderson, K Sonesson, M Karlsson, S.G. Nilsson, J. Lanner Lifespan and mortality of old oaks – combining empirical and modelling approaches to support their management in Southern Sweden. *Ann. For. Sci.* 65 (2008) 401. DOI: 10.1051/forest:2008012
17. Nielsen, S.; Müller, F.; Marques, J.; Bastianoni, S.; Jørgensen, S. Thermodynamics in Ecology—An Introductory Review. *Entropy* **2020**, 22, 820
18. Bertalanffy L., von. Quantitative laws in metabolism and growth // *The Quarterly Review of Biology*. 1957. V. 32. P. 217–231
19. Корзухин М.Д. Построение кривых хода роста древостоев на основе обобщенной модели Берталанфи по данным государственного лесного реестра // *Лесоведение*. 2019. № 2. С. 105–114
20. A Musiyevsky Modelling the growth tables of the oak stands of seed origin of the Voronezh region by type of forest growing conditions 2019 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **316** 012041
21. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Нильсон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии: (нормативно-справочные материалы). Изд. 2-е. М.: Рослесхоз, Международный институт прикладного системного анализа, 2008. 886 с.

References

1. Hastie, T.J.; Tibshirani, R.J. *Generalized Additive Models*; Taylor & Francis Group: New York, NY, USA, 2017; pp. 1–335
2. Viet, H.D.X.; Tyminska-Czabanska, L.; Socha, J. Modeling the Effect of Stand Characteristics on Oak Volume Increment in Poland Using Generalized Additive Models. *Forests* **2023**, 14, 123. <https://doi.org/10.3390/f14010123>
3. Lisitsyn V I, Drapalyuk M V and Matveev N N 2022 Modeling the Forest Stand Growth Dynamics Based on the Thermodynamic Approach. *Russian Forestry Journal* **3** 213 <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-213-225> [in Russian]
4. Lisitsyn V I, Matveev N N and Saushkin V V 2021 Ecological and physiological modelling of mixed stand dynamics. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **875** 012042 doi:10.1088/1755-1315/875/1/012042
5. Alexandrov G.A., Golitsyn G.S. Biological age from the viewpoint of the thermodynamic theory of ecological systems // *Ecological Modelling*. 2015. V. 313. № 2. P. 103–108. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2015.06.022
6. Komarov A S, Chertov O G, Mikhailov A V et al. (2007) Modeling Organic Matter Dynamics in Forest Ecosystems (Moscow: The science) p 380 http://www.knigoprovod.ru/?book_id=3570;topic_id=23 [in Russian]
7. Zhang X, Cao Q V, Wang H, Duan A and Zhang J 2020 Projecting Stand Survival and Basal Area Based on a Self-Thinning Model for Chinese Fir Plantations. *For. Sci.* **66**(3) 361 <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz086>

8. Sokolov A V, Bolondinsky V K and Voloshinov V V 2019 Technology of Balanced Identification for Selection of Pine Transpiration Mathematical Model. *Mathematical Biology and Bioinformatics* **14**(2) 665 doi: 10.17537/2019.14.665 [in Russian]
9. Ogawa K 2018 Mathematical consideration of the age-related decline in leaf biomass in forest stands under the self-thinning law. *Ecol. Modell.* **372**(C) 64 doi: 10.1016/j.ecolmodel.2018.01.015
10. Vatandaşlar C, Keleş C, Fosso L C and Karahalil U 2019 Analyzing the effects of different management strategies on forest biomass carbon loss using linear programming. *Siberian Journal of Forest Science* **1** 65 doi: 10.15372/SJFS20190106
11. Nash J E and Sutcliffe J V 1970 River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *J. Hydrology* **10**(3) 282 [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
12. H. PRETZSCH, Analysing and Modelling Forest Stand Dynamics for Practical Application - An European Review and Perspective. *Eurasian J. For. Res.* 10-1: 1-17, 2007
13. Johnson, Paul S., *The ecology and silviculture of oaks.*/Paul S. Johnson, St. R. Shifley, R. Rogers. CAB International, 2002. 498p.
14. H. Pretzsch, P. Biber, G. SchuËtze, E. Uhl & T. RoËtzer. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *NATURE COMMUNICATIONS* | 5:4967 | DOI: 10.1038/ncomms 5967
15. Drobyshev, S. Anderson, K. Sonesson. Crown condition dynamics of oak in southern Sweden 1988–1999. *Environ Monit Assess* (2007) 134:199–210. DOI 10.1007/s10661-007-9610-9
16. Drobyshev, M. Niklasson, H Linderson, K Sonesson, M Karlsson, S.G. Nilsson, J. Lanner Lifespan and mortality of old oaks – combining empirical and modelling approaches to support their management in Southern Sweden. *Ann. For. Sci.* 65 (2008) 401. DOI: 10.1051/forest:2008012
17. Nielsen, S.; Müller, F.; Marques, J.; Bastianoni, S.; Jørgensen, S. Thermodynamics in Ecology—An Introductory Review. *Entropy* **2020**, *22*, 820
18. Bertalanffy L., von. Quantitative laws in metabolism and growth // *The Quarterly Review of Biology.* 1957. V. 32. P. 217–231
19. Korzukhin M.D. Construction of growth curves of stands based on the generalized Bertalanfi model according to the State forest register // *Forest science.* 2019. No. 2. pp. 105-114
20. A Musiyevsky Modelling the growth tables of the oak stands of seed origin of the Voronezh region by type of forest growing conditions 2019 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **316** 012041
21. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nilson S., Buluy Yu.I. Tables and models of the course of growth and productivity of plantings of the main forest-forming species of Northern Eurasia: (normative reference materials). Ed. 2-E. M.: Rosleskhoz, International Institute of Applied System Analysis, 2008. 886 p.

Молчанов А.Г., Беляева Е.В.

*Институт лесоведения Российской академии наук,
с. Успенское, Одинцовского района, Московской обл.*

Зависимость фотосинтеза от водообеспеченности у подростка сосны, ели и дуба, произрастающих под пологом леса и на открытых участках

Аннотация. В условиях недостаточного водоснабжения под лесным пологом и на открытой местности, дневной ход фотосинтеза значительно различается, как по максимальным значениям интенсивности, так и по продолжительности в течение дня. Это различие обусловлено разным режимом солнечной радиации. В случае лесного покрова, для анализа зависимости фотосинтеза от солнечной радиации при различных уровнях водоснабжения, можно использовать уравнение Монси и Саэки, поскольку данная зависимость в течение дня меняется незначительно. Однако, на открытой местности при недостаточном водоснабжении, водный потенциал хвои резко повышается, что приводит к снижению интенсивности фотосинтеза. Для анализа среднедневной зависимости фотосинтеза от солнечной радиации при разных условиях водоснабжения, уравнению Монси и Саэки следует добавить зависимость от недостатка воды.

Ключевые слова: среднедневная интенсивность фотосинтеза, предрассветный водный потенциал, среднедневная солнечная радиация, подростки сосны, ели, дуба.

Molchanov A.G., Belyaeva E.V.

*Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Forestry
of the Russian Academy of Sciences, Uspenskoye village,
Odintsovo district, Moscow region*

**Dependence of photosynthesis on water availability in the young growth
of pine, spruce and oak growing under the canopy of the forest
and in open areas**

Abstract: Under conditions of insufficient water supply in forest canopies and open areas, the diurnal pattern of photosynthesis varies significantly in terms of both maximum intensity and duration throughout the day. This difference is attributed to variations in solar radiation regimes. In the case of forest canopies, the Monis and Saeki

equation can be used to analyze the relationship between photosynthesis and solar radiation under different levels of water supply, as this dependency remains relatively stable throughout the day. However, in open areas with inadequate water supply, the water potential of the needles sharply increases, leading to a reduction in photosynthesis intensity. To analyze the average daily dependence of photosynthesis on solar radiation under different water supply conditions, the Monis and Saeki equation should incorporate a water deficit dependency.

Key words: average daily photosynthesis intensity, predawn water potential, average daily solar radiation, pine, spruce, oak.

ВВЕДЕНИЕ

Различия в условиях роста между подростом, которые возникают под кронами леса и на открытых участках, в основном связаны с различиями в поступлении солнечной радиации. Под пологом, где кроны деревьев плотно смыкаются, солнечная радиация обычно ограничена. На открытых участках, особенно в ясные и безоблачные дни, уже при небольшом недостатке водоснабжения солнечная радиация может подавить фотосинтез во второй половине дня. Чем более чувствительный вид к дефициту влаги и чем сильнее засуха, тем раньше в течение дня происходит сокращение фотосинтетической активности (2). По мере увеличения дефицита влаги световые кривые фотосинтеза уменьшаются как по абсолютным значениям, так и по временной длительности в течение дня. В течение дня сокращается время максимальной интенсивности фотосинтеза, а в случае сильной засухи интенсивность фотосинтеза во второй половине дня может снизиться до нуля (15). Наши исследования (3,4) показали, что с увеличением дефицита влаги депрессия фотосинтеза наступает через короткое время при более низкой интенсивности солнечной радиации, а максимальная интенсивность фотосинтеза снижается с увеличением дефицита влаги.

В настоящее время состояние подростка обычно оценивают по визуальным характеристикам, которые в условиях ограниченного водного режима являются достаточно приблизительными (10). Более точную оценку водоснабжения подростка можно получить, опираясь на предрассветный водный потенциал растения, что было продемонстрировано исследователями Карелии (11; 12; 1).

В данной работе предлагается оценка состояния подростка на основе зависимости среднедневной интенсивности фотосинтеза подростка древесных пород от водоснабжения (предрассветного водного потенциала).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на 5-летних саженцах сосны (*Pinus sylvestris* L.), ели (*Picea abies* L.) и дуба (*Quercus robur* L.) в Серебряноборском опытном лесничестве Института лесоведения РАН в условиях постепенного искусственного иссушения почвы. Саженцы находились в 15-литровых сосудах под кронами 140-летнего соснового насаждения с сомкнутостью крон 0,8 и также на открытой местности. Саженцы были установлены под прозрачным навесом и поливались по мере иссушения почвы. Водный потенциал определялся в предрассветные часы с помощью камеры давления. Фотосинтез измерялся

круглосуточно с помощью инфракрасного газоанализатора LI-840 (Li-Cor, США).

Показания газоанализатора регистрировались с помощью логгера каждые 5 секунд и сохранялись с осреднением на накопителе данных. Одновременно регистрировалась температура воздуха и солнечная радиация. Солнечная радиация измерялась с помощью пиранометра Янишевского, установленного непосредственно рядом с растениями. Расход воздуха через камеры регулировался и контролировался расходомером с игольчатым вентилем типа РС-3А, побудителем расхода воздуха через камеры был микрокомпрессор Sonic-388. Система регистрации и измерения данных состояла из трех камер, в каждой из которых находился охвоенный побег сосны, ели, а в третьей лист дуба. Переключение камер осуществлялось автоматическим устройством, время "опроса" одной камеры составляло 25 минут. Ассимиляция CO_2 растениями рассчитывалась по формуле:

$$R_w = (C_b - C_{control}) F/S \quad (1)$$

где R_w – Ассимиляция ($\text{мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$), C_b и $C_{control}$ – концентрации CO_2 в камере и окружающем воздухе вблизи камеры, соответственно (ppm), F – поток воздуха через камеру (л ч^{-1}), S – площадь проекции поверхности хвои или листа в камере, (см^2).

Более подробная методика изложена нами ранее (6; 7).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Под пологом леса и на открытых участках условия для роста саженцев древесных пород различны. В подлеске солнечная радиация обычно редко достигает максимальных значений и часто недостаточна. На открытой местности, особенно в ясную погоду, наблюдается избыточная солнечная радиация, которая при недостаточной влаге может подавлять фотосинтез.

Уровень фотосинтеза, зависящий от солнечной радиации, описывается уравнением Монси и Саеки (16). Это уравнение дает хорошие результаты для подростка деревьев, таких как дуб, сосна и ель. На рисунке 1 показаны графики зависимости фотосинтеза сосны от солнечной радиации при разных условиях водоснабжения в течение суток.

Для примера представлена зависимость фотосинтеза сосны от водообеспеченности и солнечной радиации. Как показано на графике (рис. 1), при более благоприятной водообеспеченности (ПВП -1.0 МПа) интенсивность фотосинтеза превышает $4.5 \text{ мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, а при ПВП -1.5 МПа интенсивность фотосинтеза снижается до $3 \text{ мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. С увеличением недостатка воды интенсивность фотосинтеза при насыщении светом уменьшается. Согласно исследованию финских ученых, нето-ассимиляция у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при изменении водного потенциала от -0.0 до -0.5 МПа составляет $7.3 \text{ мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, при 0.9-1.1 МПа - $5.5 \text{ мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, а при -1.6-1.8 МПа всего $1.3 \text{ мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (14).

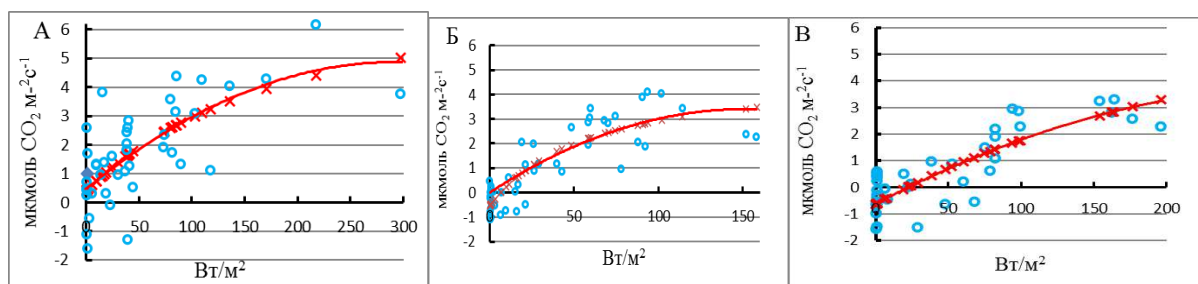


Рис. 1. Зависимость интенсивности фотосинтеза хвои текущего года сосны от солнечной радиации в разных условиях водообеспеченности:
А - ПВП= -1.0 МПа; Б - ПВП= -1.2 МПа; В - ПВП= -1.5 МПа
(Символ круг - экспериментальные значения; символ крест - расчетные значения)

В связи с тем, что зависимость фотосинтеза от солнечной радиации под пологом леса в разных условиях водообеспеченности в течение дня неодинакова, интенсивность фотосинтеза во второй половине дня даже под пологом леса достигает меньших максимальных значений по сравнению с утренними часами. Поэтому для анализа зависимости фотосинтеза от водообеспеченности использовали среднедневные значения фотосинтеза и солнечной радиации.

Зависимость среднедневного фотосинтеза от интенсивности солнечной радиации и водообеспеченности (ПВП) для ели, сосны и дуба, растущих под пологом древостоя, была рассчитана с помощью нелинейной регрессии по формулам:

$$Ph = (a \cdot Q / (1 + b \cdot Q) - c) \cdot (d \cdot MPa^2 + e \cdot MPa + f) \quad (2)$$

где Q - солнечная радиация; MPa - ПВП листа (хвои); a, b, c, d, e, f - коэффициенты.

Коэффициенты, рассчитанные по этим уравнениям, приведены в табл. 1.

Таблица. 1. Коэффициенты, для саженцев на под пологом древостоя.

Порода	a	b	c	d	e	f
Ель	209,263	74,6854	-46,274	-0,7247	-10,303	-44,83
Сосна	-4,6715	5,001	7,2116	-3,787-	-11,2085	1,54318-
Дуб	3,4284	6,49047	3,9337	-0,3931	1,32452	4,79404

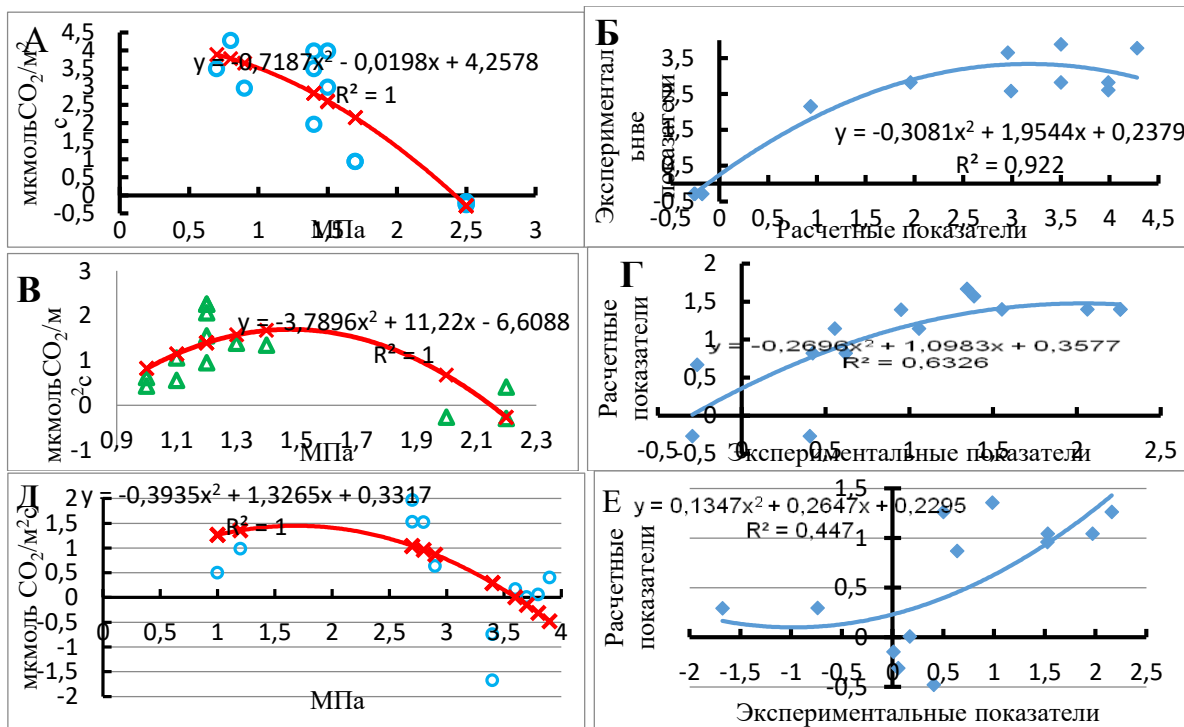


Рис. 2. Зависимость среднесуточной интенсивности фотосинтеза от водообеспеченности (ПВП) для ели-А, сосны-В, дуба-Д и соотношение расчетных и экспериментальных показателей ель-Б, сосны-Г, дуба –Е для саженцев, произрастающих под пологом древостоя

Из полученных данных (Рис. 2) можно увидеть, что под пологом древостоя подрост елей снизил среднесуточную интенсивность фотосинтеза в два раза при водообеспеченности (ПВП) -1.8 МПа и полностью прекратил фотосинтетическую активность при ПВП -2.4 МПа. По сравнению с елями, сосны имели среднюю суточную интенсивность фотосинтеза в два раза ниже - 2.0 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, в то время как у елей она составляла 4.0 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. У сосен полное прекращение фотосинтеза произошло при ПВП -2.2 МПа. Дуб имел максимальную интенсивность фотосинтеза, незначительно ниже, чем у сосен, но полное прекращение фотосинтеза произошло при более высокой ПВП -3.5 МПа. Рисунки Б, Г и Е демонстрируют, что зависимость для ели является наиболее надежной, в то время как для дуба желательно уменьшить разброс экспериментальных данных.

На открытых участках интенсивность фотосинтеза быстрее снижается в течение дня при недостатке водообеспеченности (5. с. ; 15. с.). Поэтому для оценки зависимости фотосинтеза от водообеспеченности также использовали среднесуточные значения фотосинтеза и среднесуточные значения солнечной радиации.

Зависимость интенсивности фотосинтеза (Ph) от интенсивности солнечной радиации (Q) и ПВП рассчитывали с помощью нелинейной регрессии по формулам:

$$Ph_{\text{дуб}} = (a*Q/(1+b*Q)-c)*(d*LN \text{ МПа}+e) \quad (3)$$

$$Ph_{\text{сосна, ель}} = (a*Q/(1+b*Q)-c)*(d* \text{МПа}^2+e\text{МПа}+f) \quad (4)$$

Таблица. 2. Коэффициенты рассчитанные по экспериментальным данным для саженцев на открытом месте.

Порода	a	b	c	d	e	f
Ель	0,07721	0,03397	-1.6773 -	1,42518	-6.3470	2,6972
Сосна	2,6972	26,53	5,553	3.00912	-10.303	4.7029-
Дуб	-0.0581	3.80239	-0.3558	-9.2916	12.5539	

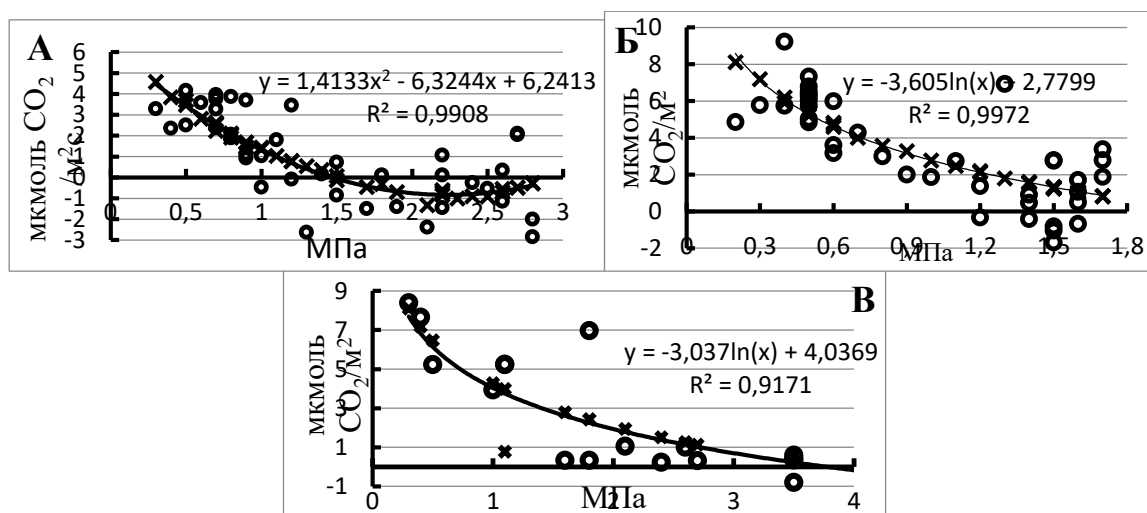


Рис. 3. Зависимость средневенной интенсивности фотосинтеза от солнечной радиации от предрассветного водного потенциала для ели (А), для сосны (Б) и дуба (В), (х - расчетные точки, о - экспериментальные точки).

Из рисунков (рис. 3) становится ясно, что саженцы ели, сосны и дуба, размещенные на открытом участке, имеют отличную зависимость фотосинтеза от водообеспеченности по сравнению с теми, что находятся под пологом леса. Например, сосны и ели на открытом участке показывали одинаковую интенсивность фотосинтеза при достаточном освещении, но в лесной зоне фотосинтез полностью прекращался при ПВП -2.4 МПа, тогда как на открытом участке это уже происходило при ПВП -1.5 МПа.

Сосна также является более устойчивым к недостатку влаги под пологом древостоя, где фотосинтез прекращается при ПВП -2.2 МПа, в то время как на открытом участке это происходит при ПВП -1.8 МПа. Однако интенсивность фотосинтеза на открытом участке при достаточном освещении значительно выше - 6 мкмоль СО₂/м²с, по сравнению с 2 мкмоль СО₂/м²с под пологом.

Дуб также показывает более высокую интенсивность фотосинтеза на открытом участке - 8 мкмоль СО₂/м²с по сравнению с 1.6 мкмоль СО₂/м²с под пологом. Фотосинтез полностью прекращается как на открытом участке, так и под пологом при ПВП -3.5 МПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под пологом древостоя и на открытом месте, в связи с разными условиями солнечной радиации, зависимость фотосинтеза от водообеспеченности различна у исследуемых пород.

У ели, которая более требовательна к влагообеспеченности, в лесу наблюдается снижение интенсивности фотосинтеза до нуля при ПВП равном -2.4 МПа, в то время как на открытом месте это происходит при ПВП равном -1.5 МПа. Такое различие обусловлено тем, что напрямую попадающие на хвою солнечные лучи перегревают ее, что значительно усиливает полуденный водный потенциал и подавляет фотосинтез.

У сосны также наблюдается различие в требовательности к водообеспечению, снижение фотосинтеза до нуля под пологом леса происходит при ПВП равном -2.2 МПа, а на открытом месте - при ПВП равном -1.8 МПа. Различие не такое значительное, как у ели.

У дуба требовательность к водообеспечению под пологом леса и на открытом месте практически не различается, фотосинтез снижается до нуля в обоих условиях произрастания при ПВП равном -3.5 МПа.

Исходя из этого, считаем, что при выращивании сеянцев необходимо поливать растения, когда ПВП сеянцев достигает критической точки (то есть снижается фотосинтез до нуля).

Список литературы

1. Кузьмичев А.М., Овчаренко. А.А. Оценка засухоустойчивости древесных насаждений в среднем Прихоперье // Известия самарского научного центра российской академии наук. 2012.Т.14. №.1-8. С.1971-1974.
2. Лярхер. Экология растений. 1978 с.
3. Молчанов А.Г. Экофизиологическое изучение продуктивности древостоев. М.: Наука, 1983. 136 с.
4. Молчанов А.Г., Т.Г. Молчанова, В.В. Мамаев. Физиологические процессы у сеянцев дуба черешчатого при недостатке влаги// Лесоведение. 1996, №1. С.54-64.
5. Молчанов А.Г. Баланс CO₂ в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах. Тула: Гриф и К, 2007. 284 с
6. Молчанов А.Г. Мониторинг эколого-физиологических показателей в экосистемах // Серебряноборское опытное лесничество: 65 лет лесного мониторинга. М.: КМК, 2010. С. 112-129.
7. Молчанов А.Г. CO₂ древостоев в естественных условиях // Фотосинтетическая деятельность и продукционные процессы фитоценозов. Выпуск 1. Орел: изд-во Орел ГАУ. 2014. С. 63-88.
8. Придача В.Б., Ольчев А.В., Сазонова Т.А., Тихова Г.П. Параметры CO₂/H₂O-обмена древесных растений как инструмент мониторинга и оценки состояния природной среды // Успехи современного естествознания 2019 № 11. С. 25-30.

9. Рахи М.О. Аппаратура для исследований компонентов водного потенциала листьев. // Физиология растений. 1973. Т. 20. С. 215-221.
10. Скуратов И.В. Крюкова Е.А. Влияние высоких температур на состояние древесных растений и их патогенов в защитных насаждениях нижнего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2 (26) С. 37-43.
11. Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Придача В.Б., Новичонок Е.В. влияние водного дефицита листа на фотосинтез березы повислой. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №10-4. С. 595-597.
12. Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Придача В.Б. Влияние водного дефицита хвои сосны обыкновенной на фотосинтез в условиях достаточного почвенного увлажнения // Лесоведение. 2017. № 4. С. 311-318.
13. Тихова Г.П., Придача В.Б., Сазонова Т.А. Влияние температуры и относительной влажности воздуха на динамику водного потенциала деревьев *Betula pendula* (Betulaceae) // Сибирский лесной журнал. 2017. № 1. С. 56-64
14. Kellomäki S., Wang K-Y. Photosynthetic responses to needle water potentials in Scots pine after a four-year exposure to elevated CO₂ and temperature // Tree Physiology. 1996. V. 16. P. 765-772.
15. Maier-Maercker, U. Dynamics of change in stomatal response and water status of *Picea abies* during a persistent drought period: a contribution to the traditional view of plant water relations // Tree Physiology. 1998 .V. 18. P. 211-222.
16. Monsi M., Saeki T. Uber den Lichtfactor in den Pflanzengtillschaften und seine Bedeutung fur dic Stoffproduction // Jap. J. Bot. 1953. V. 14. № 1. P. 22-55.

References

1. Kuz'michev A.M., Ovcharenko. A.A. Ocenka zasuhoustojchivosti drevesnyh nasazhdenij v srednem Prihoper'e // Izvestiya samarskogo nauchnogo centra rossijskoj akademii nauk. 2012 T.14. №.1-8. С.1971-1974.
2. Lyarher. Ekologiya rastenij. 1978 s.
3. Molchanov A.G. Ekofiziologicheskoe izuchenie produktivnosti drevostoev. М.: Nauka, 1983. 136 s.
4. Molchanov A.G., T.G. Molchanova, V.V. Mamaev. Fiziologicheskie processy u seyancev duba chereschatogo pri nedostatke vlagi// Lesovedenie. 1996, №1. S.54-64.
5. Molchanov A.G. Monitoring of ecological and physiological indicators in ecosystems // Serebryanoborskoe experimental forestry: 65 years of forest monitoring. Moscow: KMK, 2010. pp. 112-129. Molchanov A.G. Balans SO₂ v ekosistemah sosnyakov i dubrav v raznyh lesorastitel'nyh zonah. Tula: Grif i K, 2007. 284 p.
6. Molchanov A.G. Monitoring of ecological and physiological indicators in ecosystems // Serebryanoborskoye experimental forestry: 65 years of forest monitoring. Moscow: KMK, 2010. pp. 112-129.

7. Molchanov A.G. CO₂ stands in natural conditions // Photosynthetic activity and production processes of phytocenoses. Issue 1. Orel: publishing house Orel GAU. 2014. pp. 63-88.
8. Pridacha V.B., Olchev A.V., Sazonova T.A., Tikhova G.P. Parameters of CO₂/H₂O exchange of woody plants as a tool for monitoring and assessing the state of the natural environment // Successes of modern natural science 2019 No. 11. pp. 25-30.
9. Rakhi M.O. Equipment for studying the components of the water potential of leaves. // Plant Physiology. 1973. Vol. 20. pp. 215-221.
10. Skuratov I.V. Kryukova E.A. Influence of high temperatures on the condition of woody plants and their pathogens in protective plantings of the lower Volga region // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: forest. Ecology. Nature management. 2015. No. 2 (26) pp. 37-43.
11. Sazonova T.A., Bolondinsky V.K., Pridacha V.B., Novichonok E.V. the effect of water deficiency of the leaf on photosynthesis of the hanging birch. // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016. No. 10-4. pp. 595-597.
12. Sazonova T.A., Bolondinsky V.K., Pridacha V.B. The effect of water deficiency of pine needles on photosynthesis in conditions of sufficient soil moisture // Forest science. 2017. No. 4. pp. 311-318.
13. Tikhova G.P., Pridacha V.B., Sazonova T.A. The influence of temperature and relative humidity on the dynamics of the water potential of *Betula pendula* (Betulaceae) trees // Siberian Forest Journal. 2017. No. 1. pp. 56-64
14. Kellomäki S., Wang K-Y. Photosynthetic responses to needle water potentials in Scots pine after a four-year exposure to elevated CO₂ and temperature // Tree Physiology. 1996. V. 16. P. 765-772.
15. Maier-Maercker, U. Dynamics of change in stomatal response and water status of *Picea abies* during a persistent drought period: a contribution to the traditional view of plant water relations // Tree Physiology. 1998. V. 18. P. 211-222.
16. Monsi M., Saeki T. Über den Lichtfactor in den Pflanzengestellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion // Jap. J. Bot. 1953. V. 14. № 1. P. 22-55.

СЕКЦИЯ 4. ГЕНЕТИКА, ПОСТГЕНОМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, БИОТЕХНОЛОГИИ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

DOI: 10.58168/Forestry2023_383-391

УДК 502.34:504.4.062.2

Yue Zixuan

China

Tomsk State University

Tutor's name: Dmitry Galkin

Integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices to improve ecosystem services

Abstract. This paper explores how using sustainable water self-purification systems in forest management can ecosystem services and protect water bodies. The paper will assess the effectiveness, implementation, and maintenance of systems, and also look into the socio-economic and environmental impacts of integrating them. In addition, framework will be proposed to guide the integration of these systems into forest management practices. It will cover identification of suitable self-purification systems, criteria for successful implementation, best practices on installation and maintenance, and assessment of impacts on ecosystem services and water quality. By using such systems, negative environmental impacts can be minimized, sustainable forest management practices can improved, and clean water can be provided. The proposed framework will help forest managers make informed decisions integrating self-purification systems in their planning. Overall, this paper provides important insights and represents crucial step toward the integration of sustainable water self-purification systems in forest management practices.

Key words: Sustainable water self-purification systems, Forest management practices, Environmental impacts, Sustainable forest management

Юэ Цзысюань

Китай

Томский государственный университет

Имя преподавателя: Дмитрий Галкин

Интеграция устойчивых систем самоочищения воды в практику лесопользования для улучшения экосистемных услуг

Аннотация. В этой статье исследуется, как использование устойчивых систем самоочищения воды в лесопользовании может способствовать экосистемным услугам и защите водных объектов. В документе будет дана оценка эффективности, внедрения и технического обслуживания систем, а также рассмотрены социально-экономические и экологические последствия их интеграции. Кроме того, будут предложены рамки для руководства интеграцией

этих систем в практику лесопользования. Он будет охватывать определение подходящих систем самоочищения, критерии успешного внедрения, лучшие практики по установке и техническому обслуживанию, а также оценку воздействия на экосистемные услуги и качество воды. Используя такие системы, можно свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду, улучшить методы устойчивого лесопользования и обеспечить чистую воду. Предлагаемая система поможет лесоведам принимать обоснованные решения, интегрируя системы самоочищения в свое планирование. В целом, этот документ содержит важную информацию и представляет собой важный шаг на пути к интеграции устойчивых систем самоочищения воды в практику лесопользования.

Ключевые слова: Устойчивые системы самоочищения воды, практика лесопользования, воздействие на окружающую среду, устойчивое лесопользование

1. Introduction

Sustainable management of forest ecosystems involves balancing the needs of various stakeholders, including economic benefits, social well-being, and environmental conservation. While forest management may provide important economic benefits, such as timber, non-timber forest products, and recreational activities, it also impacts various environmental and social factors, including the quality and quantity of water in aquatic ecosystems. Consequently, there is a growing need for sustainable forest management that addresses these environmental and social impacts. Integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices is an emerging approach that can help meet this need. Such systems harness natural processes to reduce the negative impacts of forest management practices on aquatic ecosystems while also improving the return of ecosystem services.

The paper's primary objective is to explore the potential benefits of integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices for improved ecosystem services. The paper reviews existing literature to identify suitable self-purification technologies and current practices, assesses the implementation barriers and identifies criteria for suitable implementation of these technologies. The paper's contribution to the field is that it highlights the potential benefits of integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices and provides guidance on the criteria and knowledge require

2. Feasibility of incorporating sustainable water self-purification systems into forest management practices

I. Sustainable self-purification technologies that can be integrated into forest management practices:

Sustainable self-purification technologies refer to natural or constructed systems that can reduce or eliminate contaminants in water by using naturally occurring processes or engineering solutions. These technologies can be integrated into forest management practices to improve water quality and quantity in aquatic ecosystems. Examples of these technologies include vegetative buffer zones, constructed wetlands, bioreactors, soil amendments, and filtration systems. These technologies can be

implemented in different forest management practices, such as timber harvesting, mining, and infrastructure development.

II. Comparison of the effectiveness and suitability of different technologies concerning forest management practices:

Comparing the effectiveness and suitability of self-purification technologies concerning forest management practices is important in selecting the most appropriate technology for a particular management context. Different technologies have varying performance and maintenance requirements, and their suitability varies with the site-specific conditions, such as soils, topography, and climate. For instance, vegetative buffer zones and constructed wetlands may be more effective and easier to maintain in flat terrain. On the other hand, bioreactors and filtration systems may be more suitable for densely populated, urban areas. Thus, a thorough evaluation of the technologies' effectiveness and suitability is necessary to select the most appropriate self-purification technology for a specific forest management practice.

III. Identification of the economic, social, and environmental impacts of integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices:

Integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices can have significant economic, social, and environmental impacts. These technologies can reduce the negative impacts of forest management practices on aquatic ecology, improve water quality and availability, and enhance ecosystem services. However, they also have associated costs, such as initial investment, operation, and maintenance. Implementation of these technologies also has social benefits, improving public and environmental health, recreational activities, and sustainable livelihoods. Additionally, these technologies can reduce greenhouse gas emissions associated with water pollution and promote carbon sequestration. Thus, the evaluation of these impacts, costs, and benefits is essential in determining the feasibility and potential of integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices.

3. Criteria for the Selection of Sustainable Water Self-Purification Systems

Identification of ecological, economic, social, and technological criteria required for the selection of suitable water self-purification systems. Evaluation of the most suitable sustainable water self-purification systems to forest management practices using the listed criteria.

Ecological criteria: These criteria assess the environmental performance of the self-purification systems. They include the efficiency of the systems in removing pollutants, the suitability of the systems to the specific site conditions, their impact on the local ecology, and the ability of the system to promote biodiversity.

Economic criteria: These criteria assess the financial implications of the self-purification systems. They include the installation, operation, and maintenance cost of the system, return on investment, and the trade-offs associated with using the system in terms of their economic benefits.

Social criteria: These criteria assess the social implications of the self-purification systems. They include their public acceptance, public health benefits, job creation potential, and social inclusiveness.

Technological criteria: These criteria assess the suitability of the self-purification systems to the technological context of forest management practices. They include the compatibility with existing technologies, availability of the materials required for the construction of the system, and the ease of the system's integration into existing infrastructure.

The evaluation of self-purification systems involves assessing their performance against each of the criteria mentioned above. For example, to evaluate the ecological suitability of a system, one might analyze its capabilities to enhance wetland functions, reduce nutrient pollutants entering aquatic systems, and prevent soil erosion in forested areas. For the economic criteria, methods such as life-cycle assessments can be used to highlight the costs associated with the self-purification systems. Social criteria, such as public acceptance or job creation potential, could be evaluated through interviews or surveys with forest managers and stakeholders. Lastly, technological criteria like compatibility with existing technologies can be evaluated by comparing the self-purification system with the forest management infrastructure currently in place. The evaluation process can then determine the most suitable self-purification system for implementation.

4. Design and Implementation of Sustainable Water Self-Purification Systems

I. Presentation of the design steps required for the installation of sustainable water self-purification systems into forest management practices.

II. Site selection and analysis: A site-specific assessment should be conducted to identify suitable locations for the installation of the self-purification systems. The site analysis should take into account the specific water quality needs, site and soil characteristics, water flow rate, and land availability.

III. Technology selection: Depending on the site conditions and needs, different self-purification systems may be suitable. Examples of self-purification systems include wetlands, bioreactors, vegetative buffer strips, and constructed wetlands - depending on the specific requirements of the forest management practices, one or more of these options may be selected.

IV. Design and construction planning: The system design must take into account the selected technology and the site analysis. The design must ensure the efficient treatment of water and incorporate plant selection, water flow patterns, and construction materials.

V. Construction: Construction practices should ensure proper installation and adequate preparation of the system. High-quality construction materials and skilled labor should be utilized.

VI. Commissioning and monitoring: The system should be commissioned by testing for proper functionality. In order to maintain system functionality, it should be monitored, and actions taken to address any issues that are detected.

Evaluation of costs and technical requirements:

I. Installation: Costs for installation are usually high, as they involve equipment, labor, and materials, among other things. Therefore, it is important to analyze the site-specific conditions and select the most suitable technology for maximizing the costs of installation while optimizing environmental performance.

II. Operation: The operation cost of the system includes power for the pump, maintenance of the system, and monitoring charges. A significant consideration is the condition of the local workforce capable of maintaining the installed self-purification system.

III. Maintenance and upkeep: Maintenance and upkeep costs of the system vary depending on the device, but typically include costs associated with keeping the system running, such as repair and maintenance costs and upkeep expenses.

Overall, it's very important to plan carefully and thoroughly, taking into account the site-specific conditions, the selected technology, and the associated costs, in order to maximize the benefits of installing sustainable water self-purification systems in forest management practices.

5. Socio-Economic and Environmental Impacts of Integrated Systems

I. Evaluation of Costs and Benefits:

The costs and benefits of integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices can be categorized as follows:

- Direct and indirect costs of installation, operation and maintenance for the self-purification systems, including material, labor, and management costs.
- Direct and indirect benefits of improved water quality, such as enhanced natural habitat, increased biodiversity, better soil quality, and reduced risk of flooding.
- Indirect benefits of carbon sequestration, which can mitigate the negative effects of climate change.
- Trade-offs and risks associated with the potential impacts of the systems on other ecosystem services.

Overall, the costs and benefits should be assessed holistically, including examining both short-term and long-term consequences, as well as any potential uncertainties or unknown factors.

II. Effect on Ecosystem Services:

Integrated sustainable water self-purification systems positively influence and enhance ecosystem services in several ways, including:

- The increase and improvement of water quality and quantity, specifically reducing nonpoint source pollution in waterways that may affect water quality.
- Increased biodiversity in the plant life surrounding the self-purification system, which can have beneficial effects on the food chain and several other ecosystem services.
- Carbon sequestration benefits delivered by the plant life in the system.
- Decreases in the risk of flooding by reducing erosion and sedimentation in waterways.

A careful analysis of socio-economic and environmental impacts is required to determine the viability and sustainability of integrated systems. An understanding of the connection between the ecosystems and human decision systems is crucial to making optimal decisions and implementing integrated systems that promote sustainability.

6. Implementation Barriers and How to Address Them

Identification of institutional and policy-related barriers that may hinder the implementation of sustainable water self-purification systems in forest management

practices. Analysis of factors that enable successful implementation strategies and mechanisms to address institutional and policy-related barriers.

I. Identification of Institutional and Policy-Related Barriers

Institutional and policy-related barriers that may hamper the implementation of sustainable water self-purification systems in forest management practices include:

- Lack of appropriate and supportive policies and standards to enforce sustainable practices in the forest industry.
- Limited access to funding sources for research and investment in the development and implementation of innovative and sustainable technologies.
- Inadequate regulatory framework and lack of awareness, which can result in unsound development practices.
- Lack of interest from stakeholder groups, such as traditional forest users and industry actors.

II. Analysis of Factors that Enable Successful Implementation Strategies

To enable the successful implementation of sustainable water self-purification systems in forest management practices, the following factors should be considered:

- Strong leadership, commitment, support, and collaboration from stakeholders involved in forest management activities.
- Identification of potential financial and non-financial incentives that can stimulate the adoption of sustainable water self-purification systems, such as market-based mechanisms, tax credits, or financial assistance.
- Development of local policies and governance structures that support and institutionalize the use of sustainable water self-purification systems.
- Increased awareness-building, knowledge-sharing, and education in the forest industry and relevant government departments to foster an understanding of the environmental and economic benefits of self-purification systems.

A comprehensive analysis of the institutional, policy-related, and technical challenges involved in the development and implementation of sustainable water self-purification systems in forest management practices is crucial in optimizing the environmental and socio-economic benefits derived from these systems.

The integration of sustainable water self-purification systems into forest management practices can improve ecosystem services in several ways. However, various institutional and policy-related barriers may hinder the implementation of these systems. These barriers include the lack of supportive policies, insufficient funding, inadequate regulatory frameworks, and a lack of interest from stakeholders.

To address these barriers, successful implementation strategies must include strong leadership, commitment, collaboration, and support from forest management stakeholders. Incentives such as financial support and development of specific policies and governance structures can promote the adoption of sustainable water self-purification systems. Increased awareness, knowledge-sharing, and education efforts in the forest industry and relevant government departments are also essential to optimizing the environmental and economic benefits of these systems.

Various mechanisms can be employed to address the institutional and policy-related barriers, such as advocacy for policy changes, financial incentives, capacity-building efforts, and the establishment of guidelines for sustainable water self-

purification systems' use. The overall effectiveness of these mechanisms depends on the comprehensive analysis of the institutional, policy-related, and technical challenges involved in the development and implementation of these systems in forest management practices. Such analysis can optimize the environmental and socio-economic benefits derived from sustainable water self-purification systems integration.

7. Conclusion

I. Summary of Findings and Recommendations for Future Research

The implementation of sustainable water self-purification systems in forest management practices can provide ecological and socio-economic benefits. This study identified various institutional and policy-related barriers that may hinder their implementation. Factors that enable successful implementation strategies and mechanisms to address the identified barriers were also discussed. Moreover, the mechanisms could include advocacy for policy changes, financial incentives, capacity-building efforts, and the establishment of guidelines and best practices.

Further research is still needed to address the following questions:

- How to implement sustainable water self-purification systems in forest management practices in different ecological and institutional contexts
- The potential trade-offs between ecological and socio-economic benefits when integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices
- The long-term impacts of sustainable water self-purification systems implementation on the water quality and forest ecosystem
- The optimal combination of mechanisms for overcoming institutional and policy-related barriers regarding the implementation of sustainable water self-purification systems in forest management practices.

II. Practical Insights into Integration of Sustainable Water Self-purification Systems

This study provides several insights on integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices. Sustainable water self-purification systems "green" technologies can provide substantial ecological and socio-economic benefits, such as enhancing water quality, controlling soil erosion, enhancing soil fertility, and supporting biodiversity conservation. Implementation strategies should ensure strong leadership, commitment, collaboration, financial support, relevant local policies, governance structures, increased awareness, and capacity-building efforts.

III. Impact of Sustainable Water Self-purification Systems Integration on Forest Management Practices and Water Bodies

The integration of sustainable water self-purification systems into forest management practices has a significant impact on forest management practices and water bodies. Forest management practices benefit from the enhanced provision of ecological services, including the conservation of biodiversity and the mitigation of climate change, whereas water bodies benefit from the improved quality of water, which is essential for aquatic life support. However, for sustainable water self-purification systems to be useful, they must address barriers, such as lack of policies and standards, limited access to funding, and inadequate regulatory frameworks, which might hinder their implementation.

The integration of sustainable water self-purification systems into forest management practices has emerged as a promising solution for improving ecosystem services. This study highlights the ecological and socio-economic benefits that such systems can offer, including enhancing water quality, controlling soil erosion, increasing soil fertility, and supporting biodiversity conservation. However, the implementation of these systems faces various institutional and policy-related barriers, such as the lack of supportive policies, insufficient funding, inadequate regulatory frameworks, and a lack of interest from stakeholders.

To address these barriers, this study recommends successful implementation strategies that ensure strong leadership, commitment, collaboration, financial support, relevant local policies, governance structures, increased awareness, and capacity-building efforts. Additionally, mechanisms such as advocacy for policy changes, financial incentives, capacity-building efforts, and the establishment of guidelines and best practices could promote the adoption of sustainable water self-purification systems. However, there are several areas for future research, such as determining how to implement sustainable water self-purification systems in different ecological contexts and evaluating the long-term impacts of their implementation on the water quality and forest ecosystem.

Integrating sustainable water self-purification systems into forest management practices positively impacts both forests and water bodies. Forests benefit from improved ecological services and support for biodiversity and climate change mitigation. Water bodies benefit from better quality water essential for aquatic life. However, institutional and policy-related barriers exist, such as a lack of policies and funding, and inadequate regulatory frameworks, which can limit the effectiveness of such systems. Integrating self-purification systems into forest management practices is a feasible solution to improve ecological services and improve water quality. Continued research and practical insights can enhance implementation and sustain benefits of sustainable forest management practices. With strong leadership, collaboration, and effective policies, sustainable water self-purification systems can offer significant environmental and societal advantages.

References

1. Alberti, J., Alcoverro, T., & Farina, S. (2017). Restoration of urban wetlands: hydrological, soil, and plant biomass attributes. *Sustainability*, 9(2), 219.
2. Booker, F. L., Fiscus, E. L., & Burkey, K. O. (2018). Photosynthesis and photorespiration in tomato leaves overexpressing Glycolate oxidase. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 269, 73-80.
3. Cao, P., Keller, V. J., Bouwman, A. F., & Zhang, L. (2019). Nitrogen loadings to surface waters and groundwater discharges from agriculture in the Chaohu Lake basin, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 285, 106612.
4. Garcia, J. H., & Anand, M. (2017). Green infrastructure as an adaptable approach to urban stormwater management. *Sustainability*, 9(6), 926.
5. Ji, G. Y., He, X. Q., Liu, T., Wang, Q., & Wu, H. (2020). Adoption of conservation practices among wheat farmers in sustainable land management in China. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119350.

6. Kasmi, S., Liu, X., Kuppeveld, M. V., & Bakker, M. (2019). Water treatment technology for small private water supply systems in rural areas: A review. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118310.
7. Kavvadias, V., Radoglou, K., Stamatelos, G., & Nepel, M. (2019). Soil biodegradation of hydrocarbon pollutants using constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 234, 162-170.
8. Kusin, F. M., & Bahauddin, A. (2019). Landscape change and habitat fragmentation analysis using spatial metrics indices in the Tasik Chini Catchment Area, Malaysia. *Journal of Environmental Management*, 232, 883-893.
9. Pombubpa, N., & MacKay, A. (2018). Effects of vegetation management strategies for bioenergy feedstock production on water quantity and quality: A review. *Journal of Environmental Management*, 218, 247-258.
10. Wang, L., & Sun, Z. (2019). A review of the roles of small-scale hydropower in the energy, water and ecosystem nexus. *Journal of Cleaner Production*, 232, 595-610.

Список литературы

1. Alberti, J., Alcoverro, T., & Farina, S. (2017). Restoration of urban wetlands: hydrological, soil, and plant biomass attributes. *Sustainability*, 9(2), 219.
2. Booker, F. L., Fiscus, E. L., & Burkey, K. O. (2018). Photosynthesis and photorespiration in tomato leaves overexpressing Glycolate oxidase. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 269, 73-80.
3. Cao, P., Keller, V. J., Bouwman, A. F., & Zhang, L. (2019). Nitrogen loadings to surface waters and groundwater discharges from agriculture in the Chaohu Lake basin, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 285, 106612.
4. Garcia, J. H., & Anand, M. (2017). Green infrastructure as an adaptable approach to urban stormwater management. *Sustainability*, 9(6), 926.
5. Ji, G. Y., He, X. Q., Liu, T., Wang, Q., & Wu, H. (2020). Adoption of conservation practices among wheat farmers in sustainable land management in China. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119350.
6. Kasmi, S., Liu, X., Kuppeveld, M. V., & Bakker, M. (2019). Water treatment technology for small private water supply systems in rural areas: A review. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118310.
7. Kavvadias, V., Radoglou, K., Stamatelos, G., & Nepel, M. (2019). Soil biodegradation of hydrocarbon pollutants using constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 234, 162-170.
8. Kusin, F. M., & Bahauddin, A. (2019). Landscape change and habitat fragmentation analysis using spatial metrics indices in the Tasik Chini Catchment Area, Malaysia. *Journal of Environmental Management*, 232, 883-893.
9. Pombubpa, N., & MacKay, A. (2018). Effects of vegetation management strategies for bioenergy feedstock production on water quantity and quality: A review. *Journal of Environmental Management*, 218, 247-258.
10. Wang, L., & Sun, Z. (2019). A review of the roles of small-scale hydropower in the energy, water and ecosystem nexus. *Journal of Cleaner Production*, 232, 595-610.

**Александрова Ю.В., Лебедева О.П.,
Бабич Н.А.**
*Северный (Арктический) федеральный
университет имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск.*

Исследование различных дезинфицирующих средств при введении в культуру *in vitro* эксплантов древесных растений

Аннотация. Одним из самых трудоемких этапов при клональном микроразмножении растений является получение первичной антисептической культуры. Для введения растительных фрагментов (сегментов, эксплантов) в культуру *in vitro* и дальнейшего их культивирования необходимо учитывать видовую специфику растительного материала. Источником заражения являются ризосферная, эпифитная и эндофитная микрофлора растений и болезнетворная микрофлора человека. Антисептические растворы должны быть безопасны для человека и стерилизуемого растения, использование хлор- и ртутьсодержащих растворов возможно при условии соблюдения правил безопасности при работе с сильнодействующими веществами и подбора концентрации и времени выдержки самих растений, чтобы не происходила гибель эксплантов (некроз). Исходя из этого необходим поиск новых «безопасных» антисептических растворов, с которыми могут работать даже несовершеннолетние во время научных работ и мастер-классов. Для исследований нами выбрана Береза карельская, из дезинфицирующих средств экспериментально опробованы: Сулема, Белизна, хлоргексидин, Торидерм, Synergetic, БРИЛЛИАНТ классик. По результатам исследования наиболее перспективное дезинфицирующее средство для стерилизации является SYNERGETIC (Синергетик). Использование препарата «БРИЛЛИАНТ классик» требует проведения дополнительных экспериментов с изменением концентрации действующего вещества и времени экспозиции, т. к. выбранная нами концентрация 5%, оказалась малоэффективной, а время выдержки в 20 минут и вовсе губительной.

Ключевые слова: карельская береза, контаминация, стерилизация, экспланты, *in vitro*

Investigation of various disinfectants when introducing *in vitro* explants of woody plants into culture

Abstract. One of the most labor-intensive stages in clonal micropropagation of plants is obtaining a primary antiseptic culture. To introduce plant fragments (segments, explants) into *in vitro* culture and their further cultivation, it is necessary to consider the species specificity of the plant material. The source of infection is rhizosphere, epiphytic and endophytic microflora of plants and pathogenic microflora of humans. Antiseptic solutions must be safe for humans and the plant being sterilized; the use of chlorine and mercury-containing solutions is possible if safety rules are followed when working with potent substances and the concentration and exposure time of the plants themselves is selected so that explant death (necrosis) does not occur. Based on this, it is necessary to search for new “safe” antiseptic solutions that even minors can work with during scientific work and master classes. For our research, we chose Karelian Birch; among the disinfectants we experimentally tested: Sublime, Belizna, chlorhexidine, Toriderm, Synergetic, BRILLIANT classic. According to the results of the study, the most promising disinfectant for sterilization is SYNERGETIC. The use of the drug “DIAMOND classic” requires additional experiments with changing the concentration of the active substance and exposure time, since the concentration we chose, 5%, turned out to be ineffective, and an exposure time of 20 minutes was completely destructive.

Keywords: *Betula pendula* Roth var *carelica* (Mercklin) Hamet-Anti, contaminants, sterilization, explant processing, *in vitro*

1. Введение

Для массового получения посадочного материала и сохранения генофонда ценных и редких видов растений применяются современные технологии клонального микроразмножения растений. Данная технология позволяет обеспечить высокий коэффициент размножения, предусматривает возможность круглогодичного проведения работ и исключает угрозу заражения вирусными и другими болезнями.

Одним из самых трудоёмких этапов при клональном микроразмножении растений является получение первичной асептической культуры. Основная задача данного этапа – получение стерильных и жизнеспособных эксплантов, способных к росту и развитию в условиях *in vitro*. Сложность введения в культуру *in vitro* древесных растений заключается в развитости и приспособленности различных грибов, которые сохраняются даже после стерилизации эксплантов.

Таким образом успех введения растительного материала в культуру *in vitro* зависит от особенностей экспланта, в соответствии с которыми подбирается

концентрация химических веществ для стерилизации растительных тканей. Одним из основных вопросов на этой стадии является подбор обработки, освобождающий эксплант от наружной инфекции и не влияющий на жизнеспособность растительного материала.

Объектом стерилизации выбран единственный экземпляр березы карельской (*Betula pendula Roth var carelica* (Mercklin) Hamet-Anti (70 лет), произрастающей в Дендрологическом саду САФУ. Поскольку семена являются гибридами, необходимо сохранение экземпляра вегетативным способом [2, 3, 6].

Для стерилизации тканей древесных пород применяются ртуть- и хлорсодержащие вещества, основным недостатком которых является высокий уровень токсичности как для стерилизуемых растений, так и для человека. Согласно ГОСТ 12.1.007–76 ртуть- и хлорсодержащие вещества относятся к 1 (вещества чрезвычайно опасные) и 2 (вещества высокоопасные) классам опасности. Следовательно, проведение работ с применением данных веществ требует допуск [9]. Эффективной стерилизации эксплантов посвящено много исследований [1, 4, 7, 8, 10, 11, 13]. Для лучшей эмульгации в стерилизующий агент добавляют в раствор Твин-20 [16]. Доказано, что количество сахарозы напрямую коррелирует со скоростью инфицирования, наибольший рост отмечен при температуре 27 °С и при концентрации сахарозы 30% [15]. Микробная контаминация также приводит к значительным потерям эксплантов, хорошие результаты при борьбе с бактериями получены при применении ампициллина или пенициллина [12].

Проведение работ по стерилизации растительных материалов при введении в культуру *in vitro* в рамках образовательной программы не предполагает использование высокоопасных веществ.

Таким образом подбор «безопасных» антисептических растворов для стерилизации древесного растительного материала при введении в культуру *in vitro* является целью наших исследований.

2. Материалы и методы

Экспериментальные исследования по подбору стерилизующих агентов проводились на базе лаборатории клонального микроразмножения растений и экспериментальной гидропоники САФУ имени М.В. Ломоносова. В качестве первичных эксплантов использовали пазушные почки берёзы карельской (*Betula pendula var. Carelica* (Merckl.) Hamet-Ahti).

Предварительно вымытые в мыльном растворе с Твин-80 и выдержанные под проточной водой (15 мин) исходные фрагменты растений помещали в стерильные условия бокса микробиологической безопасности ВА-Safe 120. Стерилизацию проводили в два этапа: на первом этапе промытые экспланты помещали на одну минуту в 96% этиловый спирт, на втором этапе применяли основной стерилизующий агент. После выдержки растительных объектов в стерилизующем агенте их тщательно промывали путём ополаскивания при трёхкратной смене стерильной воды по 15 минут.

Согласно литературным данным для стерилизации древесных эксплантов берёзы используют хлор- и ртутьсодержащие составы – сулема и белизна-концентрат (и все производные), которые относятся ко 2 классу опасности.

Сулема или дихлорид ртути (HgCl_2) применяется в медицине как сильнодействующее дезинфицирующее средство в концентрации 1:1000.

Для стерилизации черенки помещали на 20 мин. в 0,1% раствор сулемы. Ввиду высокой токсичности вещества увеличили количество отмывок стерильной водой по 15 мин до 5 раз.

Белизна – один из наиболее эффективных и популярных препаратов, в активную составную формулу которого входят следующие ингредиенты:

1. гипохлорит натрия – сильный кислородный окислитель, содержащий до 95% хлора. Является клеточным ядом, поэтому время стерилизации и концентрацию нужно подбирать экспериментально;

2. гидроксид натрия (каустическая сода) – способствует увеличению уровня мягкости воды и обеспечивает оптимальный щелочной уровень;

3. поверхностно-активные вещества улучшают мыльные и моющие свойства Белизны.

При стерилизации экспланты берёзы в течение 15 минут выдерживали в неактивном 10%-ном растворе Белизны.

Среди малоопасных растворов нами исследованы хлоргексидин, Торидерм, Synergetic (*Синергетик*), *БРИЛЛИАНТ классик*, относящиеся к 4 классу (малоопасные вещества) по параметрам острой токсичности в соответствии с ГОСТ 12.1.007–76.

Хлоргексидин – безопасный для человека лекарственный препарат, применяемый в качестве наружного антисептика и дезинфицирующего средства.

Стерилизацию эксплантов в растворе с содержанием активного вещества 0,05 % проводили в течение 30 мин.

Торидерм – кожный антисептик с пролонгированным эффектом. Действующее вещество: комплекс изопропилового и пропилового спиртов в равных долях 70%, комплекс ЧАС -0,1%, хлоргексидин биглюконат -0,2%, а также компоненты растительного происхождения (в т.ч. эфирные масла и/или экстракты) и другие функциональные добавки. Режим стерилизации в 100% растворе – 15 мин.

SYNERGETIC (Синергетик) – универсальное антибактериальное средство для мытья поверхностей, не имеющее запаха. Состоит из комплекса биоразлагаемых кислот – лимонной, гликолевой и молочной. Стерилизация эксплантов проводилась 50% раствором в течение 30 мин.

БРИЛЛИАНТ классик – дезинфицирующее средство, действующими веществами которого являются алкилдиметилбензиламмоний хлорид (АДБАХ) 0.9 %, глутаровый альдегид 0.8 %, и вспомогательные компоненты. Стерилизацию проводили 5 % раствором в течение 15 и 20 мин.

После стерилизации первичные экспланты растений помещали на питательную среду Murashige and Skoog (MS30 без добавления глицина) [14], которая предварительно выдержана в условиях ламинар-бокса 5 дней для выявления зараженности патогенами.

Для дальнейшего культивирования тканей пробирки с эксплантами перемещали в световую комнату на фитостеллажи, обеспечивая условия 16-часового фотопериода с помощью светодиодного (биколор) освещения с

возможностью регулировки интенсивности яркости, диапазон длин волн – 440-660 нм. Температура в условиях световой комнаты составляет +20...+22°C, относительная влажность воздуха – 70...75%.

3. Результаты и обсуждения

Оценка состояния эксплантов производилась посредством визуального осмотра каждые 3 дня в течение месяца со дня начала эксперимента. Подсчет инфицированных, стерильных, жизнеспособных и нежизнеспособных образцов осуществлялся на 30-й день эксперимента, т.к. активное проявление контоминации пришлось на 20 - 25 сутки. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты, полученные в ходе исследований

Стерилизующий агент	Время экспозиции, мин	Количество эксплантов, %			
		инфицированных	стерильных	жизнеспособных	нежизнеспособных
Вещества 2 класса опасности					
Сулема	20	20	80	17	83
Белизна	15	50	50	50	50
Вещества 4 класса опасности					
Хлоргексидин	30	100	0	14	86
Торидерм	15	100	0	50	50
Synergetic	30	67	33	83	17
«БРИЛЛИАНТ классик»	15	100	0	22	78
«БРИЛЛИАНТ классик»	20	100	0	0	100

Данные, представленные в таблице 1 показывают, что лучшие результаты стерилизации обеспечивают высокотоксичные вещества 2 класса опасности, что соответствует данным из публикаций других авторов. Наибольший процент стерильных образцов (80%) отмечен при обработке первичных эксплантов сулемой. При обработке эксплантов белизной стерильные образцы отмечены в 50 % случаев.

Среди стерилизующих препаратов 4 класса опасности (малоопасных веществ) 33% пробирок оказались стерильными при использовании Synergetic. Экспланты, обработанные другими низкотоксичными веществами, инфицированы в 100% случаев.

При этом при обработке растительного материала «безопасными» препаратами экспланты остаются жизнеспособными, в отличие от обработанных высокоопасными веществами. Лучший показатель жизнеспособности (83%) отмечен также после обработки Synergetic. В остальных случаях количество погибших эксплантов во всех вариантах опыта больше жизнеспособных. 20-минутная экспозиция в БРИЛЛИАНТ является губительной. Необходимо

продолжить исследования по стерилизации эксплантов в данном препарате с другой концентрацией и временем выдержки. Худший результат (14%) зафиксирован при применении хлоргексидина.

Экспланты, прошедшие стерилизацию малоопасными препаратами имеют меньший процент стерильности, но больший процент выживаемости, относительно эксплантов, прошедших стерилизацию высокоопасными реагентами, а, следовательно, требуют дополнительного этапа стерилизации.

4. Заключение

Результаты исследований показали возможность успешного применения малоопасных препаратов при стерилизации первичных эксплантов древесных растений. Наиболее перспективным препаратом является Synergetic. Использование препарата БРИЛЛИАНТ классик и Торидерм требуют проведения дополнительных экспериментов с изменением концентрации действующего вещества и времени экспозиции для получения лучшего результата. Высокая сохранность эксплантов даёт возможность планирования дальнейших исследований.

Список литературы

1. Bikmetova, K. R. Issledovanie e`ffektivnosti razlichny`x sposobov sterilizacii e`ksplantov skumpii kozhevennoj (cotinus coggygia) v usloviyah mikroklonal`nogo razmnozheniya / K. R. Bikmetova, Yu. S. Smirnova // Risovodstvo. – 2021. – № 1(50). – S. 49-52. – DOI 10.33775/1684-2464-2021-50-1-49-52. – EDN KJFFHR.
2. Bokareva, N. S. Vvedenie karel`skoj berezy` v kul`туру in vitro / N. S. Bokareva, I. Yu. Isakov // Sovremenny`e problemy` e`kologii zhivotnogo i rastitel`nogo mira: Materialy` Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Voronezh, 19 aprelya 2021 goda / Otv. redaktor Yu.V. Chekmeneva. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvenny`j lesotexnicheskij universitet im. G.F. Morozova, 2021. – S. 5-9. – DOI 10.34220/MPEAPW2021_5-9. – EDN KIPEYD.
3. Vetchinnikova, L. V., i A. F. Titov. «KAREL`SKAYA BEREZA: RAZNOVIDNOST` ILI SAMOSTOYATEL`NY`J VID?». Izvestiya vuzov. Lesnoj zhurnal, vy`p. 1, fevral` 2020 g., ss. 26-48, doi:10.37482/0536-1036-2020-1-26-48.
4. Vliyanie sposoba sterilizacii na zhiznesposobnost` e`ksplantov klonovogo podvoya yabloni 54-118 / A. V. Nikitina, T. G. Lekonceva, A. V. Fedorov, A. M. Lentochkin // Trudy` po introdukcii i akklimatizacii rastenij / Udmurtskij federal`ny`j issledovatel`skij centr Ural`skogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. Tom Vy`pusk 1. – Izhevsk : Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie nauki "Udmurtskij federal`ny`j issledovatel`skij centr Ural`skogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk", 2021. – S. 408-410. – EDN HFIWPU.
5. GOST 12.1.007-76 Sistema standartov bezopasnosti truda. Vredny`e veshhestva. Klassifikaciya i obshhie trebovaniya bezopasnosti
6. Mashkina, O. S. Karel`skaya bereza (Betula pendula Roth var. sareliisa Merkl.) kak model` dlya izucheniya geneticheskoy i e`pigeneticheskoy izmenchivosti pri

- formirovanii uzorchatoj drevesiny` / O. S. Mashkina, A. K. Butorina, T. M. Tabaczkaya // Genetika. – 2011. – T. 47, № 8. – S. 1073-1080. – EDN OCXEUL.
7. Mikroklonal`noe razmnozhenie rastenij / V. V. Demidchik, M. A. Cherny`sh, T. I. Ditchenko [i dr.] // Nauka i innovacii. – 2019. – № 6(196). – S. 4-11. – EDN FPOUSH.
 8. Patent № 2675510 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK A01H 4/00. Sposob poverxnostnoj sterilizacii e`ksplantov osiny` in vitro : № 2017119631 : zayavl. 05.06.2017 : opubl. 19.12.2018 / E. A. Shabanova, O. S. Mashkina ; zayavitel` Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie "Vserossijskij nauchno-issledovatel`skij institut lesnoj genetiki, selekcii i biotexnologii" (FGBU "VNIILGISbiotex"). – EDN WYORIT.
 9. Prikaz Mintruda Rossii ot 27.11.2020 N 834n "Ob utverzhdenii Pravil po oxrane truda pri ispol`zovanii otel`ny`x vidov ximicheskix veshhestv i materialov, pri ximicheskoy chistke, stirke, obezzarazhivanii i dezaktivacii" (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 22.12.2020 N 61680)
 10. Sulejmanova, S. D. Mikroklonal`noe razmnozhenie plodovy`x kul`tur (obzor) / S. D. Sulejmanova // Vostochno-Evropskij nauchny`j zhurnal. – 2016. – T. 11, № 2. – S. 47-54. – EDN XQQGKD. Abdalla, N.; El-Ramady, H.; Seliem, M.K.; El-Mahrouk, M.E.; Taha, N.; Bayoumi, Y.; Shalaby, T.A.; Dobránszki, J. An Academic and Technical Overview on Plant Micropropagation Challenges. *Horticulturae* 2022, 8, 677. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080677>
 11. El-Banna, A.N.; El-Mahrouk, M.E.; Dewir, Y.H.; Farid, M.A.; Abou Elyazid, D.M.; Schumacher, H.M. Endophytic Bacteria in Banana In Vitro Cultures: Molecular Identification, Antibiotic Susceptibility, and Plant Survival. *Horticulturae* 2021, 7, 526. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120526>
 12. Loyola-Vargas, V.M.; Ochoa-Alejo, N. An Introduction to Plant Tissue Culture: Advances and Perspectives. In *Plant Cell Culture Protocols, Methods in Molecular Biology*; Loyola-Vargas, V.M., Ochoa-Alejo, N., Eds.; Springer Nature: New York, NY, USA, 2018; Volume 1815, pp.3-13
 13. Murashige, T. and Skoog, F. (1962), A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
 14. Nazar, A & Al Ghasheem, Nazar & Al-Saeed, Raghad & Fadala, Laila. (2023). In vitro, effect of sucrose concentration and type of culture medium on fungal colonies infections on Murashige and Skoog medium. 2667-2678.
 15. Thakur, R., Sood, A. An efficient method for explant sterilization for reduced contamination. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 84, 369–371 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11240-005-9034-6>.

References

1. Bikmetova, K. R. Study of efficiency of different methods of sterilization of explants of leather scumpy (*cotinus coggygria*) under microclonal reproduction/ K. R. Bikmetova, Yu. S. Smirnova // Rice growing. – 2021. – No. 1(50). – pp. 49-52. – DOI 10.33775/1684-2464-2021-50-1-49-52. – EDN KJFFHR.

2. Bokareva, N. S., Isakov I. Y., Introduction of karelian birch to the culture in vitro // Materials of the all-russian youth scientific and practical conference "modern problems of the ecology of the animal and plant world" . Fsbe institution of higher education voronezh state university of forestry and technologies named after g.f. Morozov . 2021. Pp. 5-9. Doi: 10.34220/mpeapw2021_5-9
3. Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Curly Birch: A Variety or a Separate Species? *Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]*, 2020, no. 1, pp. 26–48. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-26-48
4. Nikitina, A.V. & Lentochkin, A.M. & Lekontseva, T.G. & Fedorov, A.V.. (2020). Influence of the sterilization method and the time of introduction into in vitro culture on the viability of explants of the clonal apple stock 54-118. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences.* 30. 411-416. 10.35634/2412-9518-2020-30-4-411-416. 5. GOST 12.1.007-76 System of occupational safety standards. Harmful substances. Classification and general safety requirements
6. Mashkina, O. S. Karelian Birch (*Betula pendula* Roth. var. *carelica* Merkl.) as a Model for Studying Genetic and Epigenetic Variation Related to the Formation of Patterned Wood/ O. S. Mashkina, A. K. Butorina, T. M. Tabatskaya // *Genetics.* – 2011. – T. 47, No. 8. – P. 1073-1080. – EDN OCXEUL.
7. Microclonal propagation of plants / V. V. Demidchik, M. A. Chernysh, T. I. Ditchenko [et al.] // *Science and Innovation.* – 2019. – No. 6(196). – P. 4-11. – EDN FPOUSH.
8. Patent No. 2675510 C2 Russian Federation, IPC A01H 4/00. Method for surface sterilization of aspen explants in vitro: No. 2017119631: application. 06/05/2017: publ. 12/19/2018 / E. A. Shabanova, O. S. Mashkina; applicant Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Selection and Biotechnology" (FSBI "VNIILGISbiotech"). – EDN WYORIT.
9. Order of the Ministry of Labor of Russia dated November 27, 2020 N 834n “On approval of labor protection rules when using certain types of chemicals and materials, during dry cleaning, washing, disinfection and decontamination” (Registered with the Ministry of Justice of Russia on December 22, 2020 N 61680)
10. Suleymanova, S. D. Microclonal propagation of fruit crops (review) / S. D. Suleymanova // *East European Scientific Journal.* – 2016. – T. 11, No. 2. – P. 47-54. – EDN XQQGKD.
11. El-Banna, A.N.; El-Mahrouk, M.E.; Dewir, Y.H.; Farid, M.A.; Abou Elyazid, D.M.; Schumacher, H.M. Endophytic Bacteria in Banana In Vitro Cultures: Molecular Identification, Antibiotic Susceptibility, and Plant Survival. *Horticulturae* 2021, 7, 526. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120526>
12. Loyola-Vargas, V.M.; Ochoa-Alejo, N. An Introduction to Plant Tissue Culture: Advances and Perspectives. In *Plant Cell Culture Protocols, Methods in Molecular Biology*; Loyola-Vargas, V.M., Ochoa-Alejo, N., Eds.; Springer Nature: New York, NY, USA, 2018; Volume 1815, pp.3-13
13. Murashige, T. and Skoog, F. (1962), A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

14. Nazar, A & Al Ghasheem, Nazar & Al-Saeed, Raghad & Fadala, Laila. (2023). In vitro, effect of sucrose concentration and type of culture medium on fungal colonies infections on Murashige and Skoog medium. 2667-2678.
15. Thakur, R., Sood, A. An efficient method for explant sterilization for reduced contamination. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 84, 369–371 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11240-005-9034-6>.

**Брындина Л.В., Гордиенко И.М.¹,
Гордиенко Т.В.²**

¹*Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

²*ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех», Воронеж, Россия*

Аминокислотный биостимулятор растений на основе растительного сырья для применения в декоративном цветоводстве

Аннотация. В последнее время экологическое земледелие и природопользование становятся все более популярны. Особенное внимание заслуживают аминокислотные биопрепараты. Существующие рецептуры, из-за особенностей используемого сырья, в полной мере не раскрывают потенциал подобного класса препаратов. Проведены исследования по получению аминокислотного биостимулятора из шрота подсолнечника с содержанием белка 21,1%. Максимальная степень деструкции белка была достигнута через 6ч с помощью кислотного и щелочного гидролиза и составляла 76% и 81% при 40 °С и 82% и 85% при 50 °С соответственно. Ферментативный гидролиз пепсином и трипсином был слабее. Но для получения биостимулятора с высоким содержанием аминокислот предпочтение отдано каталитическому расщеплению белков шрота трипсином в концентрации 0,5 г/100 см³. Степень гидролиза через 6ч составила 62% при 40 °С и 56% при 50 °С. Листовая обработка редиса *Raphanus sativus* биостимулятором положительно влияла на рост растений и окраску листьев.

Ключевые слова: биостимуляторы, аминокислоты, гидролиз, подсолнечный шрот, внекорневая подкормка.

**Bryndina L.V., Gordienko I.M.¹,
Gordienko T.V.²**

¹*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh, Russia*

²*FGBU "Vniilgisbiotech", Voronezh, Russia*

Amino acid biostimulator of plants based on plant raw materials for use in decorative floriculture

Abstract. Recently, ecological farming and nature management have become increasingly popular. Amino acid biologics deserve special attention. Existing formulations, due to the characteristics of the raw materials used, do not fully reveal the potential of this class of drugs. Studies have been conducted to obtain an amino acid biostimulator from sunflower meal with a protein content of 21.1%. The maximum degree of protein destruction was achieved after 6 hours by acid and alkaline hydrolysis and was 76% and 81% at 40 °C and 82% and 85% at 50 °C, respectively. Enzymatic

hydrolysis with pepsin and trypsin was weaker. But to obtain a biostimulator with a high content of amino acids, preference is given to the catalytic cleavage of meal proteins with trypsin at a concentration of 0.5 g / 100 cm³. The degree of hydrolysis after 6h was 62% at 400 C and 56% at 500 C. Leaf treatment of radish *Raphanus sativus* with a biostimulator had a positive effect on plant growth and leaf color.

Keywords: biostimulants, amino acids, hydrolysis, sunflower meal, foliar top dressing.

1. Введение

Аминокислотные биопрепараты и регуляторы роста растений широко применяются в сельском хозяйстве и декоративном цветоводстве. Так, Котляров В.В. с соавторами установил позитивное влияние листовых обработок аминокислотами на повышение продуктивности растений сои [1], а Мокина С.А. исследовала влияние современных промышленных рецептур аминокислотных биостимуляторов отечественного производства на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях фермерского хозяйства [2]. Авторы исследований отмечали высокую эффективность, экологичность и безопасность для человека подобного класса препаратов. При этом, аминокислотные биопрепараты имеют синергический эффект с минеральными подкормками и приводят к увеличению урожайности, улучшению сопротивляемости растений к болезням и вредителям, а также улучшают декоративные качества растений, применяемых в озеленении. При самостоятельном применении, аминокислотные биопрепараты оказывают позитивное влияние на рост и развитие растений, не вызывая при этом негативных эффектов, что было отмечено в обоих исследованиях. В настоящий момент на рынке РФ, в связи с антироссийскими санкциями, образовался дефицит импортных аминокислотных биостимуляторов и ассортимент представленных в продаже рецептур, сократился до нескольких наименований. Подавляющее большинство отечественных препаратов производят из отходов скотоводства (свиных шкур, перьев и т.д.). При этом сырье животного происхождения имеет высокую стоимость и короткий срок хранения, что делает его менее технологичным по сравнению с другими, применяющимися для получения аминокислотных препаратов видами сырья, такими как водоросли. Например, Ullah, M.R. с коллегами доказал, что водоросли действительно являются богатым источником протеина для различных промышленных целей [3].

Опираясь на исследование Рудакова О.Б. об аминокислотном составе растительного и животного белка [4], следует предположить, что аминокислотный состав препаратов, полученных из животного белка, имеет иное соотношение аминокислот, которое меньше подходит для эффективной листовой подкормки растений. Так, основываясь на вышеприведенном исследовании Рудакова О.Б., в аминокислотных препаратах животного происхождения доля аминокислоты пролин выше, чем в растительном белковом сырье. Сошинковой Т.Н. установлено, что экзогенный пролин оказывает, в основном, антиоксидантный эффект, слабо влияя на рост и развитие растения, не находящегося в окислительном стрессе [5]. При этом, глицин и глутаминовая

кислота, доля которых выше в белковом сырье, имеющем растительную природу, оказывает большую ростостимулирующую активность по сравнению с пролином.

Исследуемый субстрат - подсолнечный шрот, получаемый из растений рода *Helianthus*, семейства *Asteraceae*, в отличие от водорослей и животной биомассы, имеет более близкую систематическую принадлежность и аминокислотный состав с большинством применяемых в озеленении декоративных растений. Шрот является отходом производства подсолнечного масла с высокой продолжительностью срока хранения [6] и высоким процентом содержания белка, что значительно повышает его технологичность. Пример успешного использования отходов производства для получения препаратов, улучшающих рост и развитие декоративных растений был показан Брындиной Л.В и Баклановой О.В. [7]. Сравнение различных шротов с высоким содержанием белка, проведенное Йылдырым Е. с командой, позволило по сумме факторов отдать предпочтение именно подсолнечному шроту [8].

Для получения свободных аминокислот чаще всего проводят кислотный или щелочной гидролиз сырья с последующей ферментацией. Положительное влияние ферментов было показано Соколовым Д.В. на примере соевого белка [9], а также, Тумайкиным Г.Г с соавторами на примере подсолнечного белка [10].

В настоящий момент, основными проблемами аминокислотных биостимуляторов являются их низкая доступность ввиду высокой стоимости исходного сырья и несбалансированный состав аминокислот, что снижает эффективность их применения в сельском хозяйстве.

Согласно исследованию, проведенному Bachittar Singh и Федуловым Ю.П. с коллегами, было показано, что наиболее эффективным методом внесения экзогенных аминокислот является внекорневая подкормка [11,12].

Таким образом, поиск новых источников аминокислот позволит решить проблему дефицита аминокислотных стимуляторов и повысить эффективность подобных препаратов для промышленного применения в области декоративного цветоводства, питомниководства и сельского хозяйства.

Цель работы – создание биостимулятора с помощью ферментативного гидролиза растительного белка, для получения аминокислот в форме, пригодной к их усвоению растениями при внекорневой подкормке.

2. Материалы и методы

Шрот был приобретен у компании-агрегатора сельскохозяйственной продукции в г. Воронеж и имел указанное происхождение «Российская Федерация, Воронежская область». Для получения аминокислот в форме, пригодной для усвоения растениями, использовали ферментативный гидролиз пепсином и трипсином СФ 10 производства «Meito» (Япония). Для достижения рабочих значений рН применяемых ферментов [13] предварительно шрот обрабатывали кислотой и щелочью. Кислотный гидролиз осуществляли при помощи H_2SO_4 , смешиванием сырья в соотношении шрот: вода: кислота – 10:100:1. Щелочной гидролиз проводили $NaOH$, смешиванием сырья в соотношении шрот: вода: щелочь – 10:100:22. Содержание белка определяли по

ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Ферменты вносили в количестве 0,1-0,5 г/100 см³. Эффективность действия биостимулятора оценивали на растениях редиса *Raphanus sativus* сорта «18 дней». Выборку и учет семян модельной культуры проводили согласно методике, описанной в [14]. Внесение экспериментального препарата в растение осуществляли методом опрыскивания листьев раствором с концентрацией 1 г белка/дм³.

Анализ различий окраски листьев растений из экспериментальной и контрольной групп оценивался визуально и с помощью инструмента MS Paint, методом пробы цвета на полученных цифровых изображениях растений.

Аналитические определения для каждой пробы выполняли в 3-х повторностях. При математической обработке результатов использовали критерий Стьюдента. Достоверными считали различия с уровнем значимости $q=5\%$.

3. Результаты и их обсуждение

Результаты эксперимента, представленные в таблице 1, показывают, что деструкция белковой составляющей шрота кислотой H₂SO₄ приводит к высокой степени высвобождения свободных аминокислот из субстрата. К 6 часам гидролиза степень очистки достигла своего максимального значения. С течением времени наблюдалось ее снижение, и к 72ч гидролитическое расщепление белков шрота уменьшилось в 1,6 раза по сравнению с максимальным. Дополнительная обработка пепсином не привела к ожидаемому повышению степени гидролиза. При всех дозах вносимого фермента она была ниже. Но также, как и при обработке кислотой, максимальные значения степени гидролиза были достигнуты через 6 ч процесса. Следует отметить прямую зависимость между дозой вносимого препарата и высвобождением аминокислот из шрота. Так при концентрации пепсина 0,5 г/100 см³ степень гидролиза белка к 6ч была на 21,1 % ниже, чем после обработки только кислотой. А концентрация фермента 0,1 г/100 см³ позволила повысить эффективность процесса лишь на 36,8 %. Это можно объяснить более жесткими условиями кислотного гидролиза белка, при котором происходит его глубокое расщепление до свободных аминокислот. Но при кислотном гидролизе белков большая часть триптофана разрушается, цистеин окисляется до цистина, серин и треонин распадаются [15]. Основными продуктами гидролиза белка под действием пепсина являются большие пептидные фрагменты и некоторое количество свободных аминокислот [15], что и показали экспериментальные результаты.

Таблица 1. Динамика деструкции белка подсолнечного шрота при температуре 40 °С

Вариант	Степень гидролиза, %				
	0 ч	6 ч	24 ч	48 ч	72 ч
H ₂ SO ₄	12	76	67	49	47
NaOH	36	81	76	60	59
NaOH+Тр. (0,1)	4	31	15	9	8

NaOH+Тр. (0,25)	9	52	19	7	4
NaOH+Тр. (0,3)	7	60	37	35	34
NaOH+Тр. (0,5)	3	62	59	36	35
H ₂ SO ₄ +Пе. (0,1)	2	28	21	12	6
H ₂ SO ₄ +Пе. (0,25)	2	47	35	12	12
H ₂ SO ₄ +Пе. (0,3)	4	56	36	26	25
H ₂ SO ₄ +Пе. (0,5)	5	60	41	33	32

Динамика щелочного гидролиз NaOH белков шрота также способствовала интенсивному их распаду. Максимальная степень разложения белковой структуры шрота отмечена к 6 ч процесса. Затем скорость реакции уменьшается в соответствии с реакцией первого порядка, и к 72 ч инкубации она была на 27,2 % ниже по сравнению с максимальной (6 ч.). В сравнении с кислотным гидролизом разрушение белковых молекул под действием щелочи было эффективнее на 9,3 %. Но при щелочном гидролизе полностью разрушаются серин, аргинин и цистеин, триптофан сохраняется несколько лучше, чем при кислотном гидролизе [15]. Аналогично гидролизу с H₂SO₄ и пепсином, максимальные величины степени разрушения белка достигаются через 6 ч. и коррелируют с концентрацией вносимого фермента. Сопоставление щелочного и ферментативного гидролиза шрота трипсином показало, что глубина гидролитических процессов, протекающих в молекулах белка, слабее после ферментации. Так через 6 ч протеолиза и концентрации трипсина 0,5 г/100 см³ эффективность деструкции белка шрота на 19 % была слабее, чем после щелочного гидролиза. Однако действие трипсина на белковые компоненты шрота оказалось более продуктивным, чем пепсина.

Увеличение температуры гидролиза до 50 °С показало неоднозначные результаты (таблица 2). Обработка кислотой и щелочью в этих температурных условиях усилила деградацию белков шрота. Ферментирование пепсином в концентрации 0,1 г/100 см³ в первые часы была несколько выше, чем при 40 °С. Вероятно кратковременное действия высокой температуры не повлияло на активные центры фермента, и он продолжал работать в этих условиях. Продление времени воздействия до 72 ч привело к снижению степени гидролиза на 89,7 % относительно максимального значения. Это объясняется инактивацией фермента, так как температурный оптимум его работы 37 - 42 °С. Увеличение дозы вносимого препарата не повлияло на рост ферментативной активности. Повышение температуры гидролиза до 50 °С достоверно уменьшало протеолитическую активность фермента.

Таблица 2. Динамика деструкции белка подсолнечного шрота при температуре 50 °С

Вариант	Степень гидролиза, %				
	0 ч	6 ч	24 ч	48 ч	72 ч
H ₂ SO ₄	14	82	71	55	51

NaOH	39	85	79	67	63
NaOH+Тр. (0,1)	2	14	11	9	8
NaOH+Тр. (0,25)	5	31	18	7	4
NaOH+Тр. (0,3)	4	50	38	35	34
NaOH+Тр. (0,5)	2	56	41	35	35
H ₂ SO ₄ +Пе. (0,1)	4	29	18	10	3
H ₂ SO ₄ +Пе. (0,25)	4	30	23	11	10
H ₂ SO ₄ +Пе. (0,3)	5	49	30	16	8
H ₂ SO ₄ +Пе. (0,5)	8	52	37	30	9

Гидролиз трипсином протекал слабее, чем при температуре 40 °С при всех концентрациях. Но в сравнении с пепсином степень гидролиза была выше, что объясняется большей устойчивостью этого фермента к температурному воздействию. Температурный оптимум трипсина находится в интервале 40-50 °С [16].

Причиной жестких условий кислотного и щелочного гидролиза является односторонняя атака ионов Н⁺ и ОН⁻ на пептидные связи в молекуле белка. Реакция, протекающая с разрушением ковалентных связей, предполагает участие двух противоположных по характеру электронных составляющих. Электроны разрываемой связи должны притягиваться к одному компоненту и уходить от другого. Вещества, которые могут осуществить такую перестройку, это кислота и щелочь. Разрыв таких связей требует преодоления высокого энергетического барьера. При ферментативном гидролизе благодаря активным центрам ферментов, этот барьер значительно ниже. Более мягкие условия ферментализации способствуют полному сохранению аминокислотного состава исходного белка. Поэтому, несмотря на снижение степени гидролиза белковой составляющей подсолнечного шрота было отдано предпочтение именно ферментативным гидролизатам, обеспечивающим полную сохранность аминокислот. На основании экспериментальных данных, представленных в таблицах 1 и 2, дальнейшие исследования проводили с белковыми гидролизатами, полученными после катализа трипсином.

Оценку эффективности действия биостимулятора из подсолнечного шрота осуществляли на растениях вида *Raphanus sativus*. Экспериментальные образцы обрабатывались однократно, на этапе появления второй пары настоящих листьев с параллельной корневой подкормкой полученным препаратом. В качестве субстрата использовали нейтрализованный верховой торф с перлитом в соотношении 1:1.

Было отмечено изменение цвета листьев в экспериментальной группе, которое было подтверждено программными методами, показавших смещение цвета листовой контрольной группы ближе к желтой части спектра, в отличие от экспериментальной. На рисунке видно, что экспериментальный образец (слева) отличается от контрольного (справа) большим размером листьев, а также более насыщенным зеленым цветом.



Рисунок. Изменение цвета и размера листьев *Raphanus sativus*

Было отмечено изменение цвета листьев на экспериментальной группе, которое подтверждено программными методами, показавшими смещение цвета листовой контрольной группы ближе к желтой части спектра, в отличие от экспериментальной.

4. Заключение

На основании проведенных исследований можно отметить, что для получения аминокислотного биостимулятора растений использование ферментативного гидролизата подсолнечного шрота является перспективным направлением. Наиболее эффективно показал себя гидролизат с применением трипсина в количества 0,5г /100см³ шрота, полученный после 6 ч ферментации при температуре 40 – 50 °С.

Список литературы

1. Котляров, В.В. Влияние экзогенных аминокислот на фотосинтетическую активность растений сои /В.В. Котляров, Е.С. Багрянцев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. - № 89. - С. 944-959.
2. Мокина, С.А. Влияние препаратов «Аминофол» и «Агромикс» на урожайность и качество зерновых культур в производственных условиях ЗАО «Шунга» Костромского района/ С.А. Мокина, Ю.В. Панкратов Ю.В.// Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: материалы 70-й международной научно-практической конференции. - Караваево: Костромская ГСХА, 2019. - С. 77-82.
3. Ullah, M.R. Seaweed: a prominent source of protein and other nutrients/M.R. Ullah, M. Akhter, A.B.S. Khan and al.// Sustainable Aquatic Research. - 2023. - No 2(2)/ - P. 145-166.
4. Рудаков, О.Б. Генотипическая изменчивость аминокислотного состава белков животного и растительного происхождения/ О.Б. Рудаков, Л.В. Рудакова, М.С. Букша// Сорбционные и хроматографические процессы.- 2020. - Т. 20. - № 1. - С. 8-21.

5. Сошникова, Т. Н. Проксидантные и антиоксидантные свойства пролина у растений и культивируемых клеток *Thellungella salsuginea*: специальность 03.01.05 «Физиология и биохимия растений» диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук/ Сошникова Татьяна Николаевна; институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. – Москва, 2013. – 113с.
6. Патент № 2332867 Российская Федерация МПК А23L 1/30, А23L 1/302, А23L 1/305. Способ производства сбалансированного по аминокислотному составу белково-витаминного композита из источников растительного белка: опубл.10.09.2008/ Русанова Л.А., Ерашова Л.Д., Павлова Г.Н., Ермоленко Р.С., Артюх Л.В., Алехина Л.А. – 2 с.
7. Брындина, Л.В. Влияние биологически очищенного осадка сточных вод на рост и развитие декоративных растений/ Л.В. Брындина, О.В. Бакланова// Лесотехнический журнал. - 2019. - Т. 9. - №1(33). - С. 23-30.
8. Ёылдырым, Е. Соевый или подсолнечный? / Е. Ёылдырым, Л. Ильина, Н. Новикова и др. // Животноводство России. - 2016. - № 1. - С. 35-36.
9. Соколов Д.В. Ферментативный гидролиз соевого белка/ Д.В. Соколов, Б.А. Болхонов, С.Д. Жамсаранова и др.//Техника и технология пищевых производств. - 2023.- Т. 53. - № 1. - С. 86-96.
10. Тумайкин, Г.Г. Влияние различных ферментных препаратов на гидролиз подсолнечного шрота / Г.Г. Тумайкин, Е.Г. Борисенко// Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста: материалы I международной научно-практической конференции. - Московский государственный университет пищевых производств. – Москва,2018. С. 157-164.
11. Singh, V. Foliar application of Amino Acids: A tool for improving fruit yield, quality and Biochemical Properties in Peach/ V. Singh, N. Singh, M. Kaur, SK. Jawandha// Applied Biological Research Year. – 2018. - V. 20. – P. 177 – 183.- DOI : 10.5958/0974-4517.2018.00023.X
12. Федулов, Ю.П. Влияние экзогенных аминокислот на растения озимой пшеницы сорта «Адель»/Ю.П. Федулов, М.Ю. Лищенковский, Д.А. Мальцева. // Молодой ученый. - 2015. - 9-2 (89). - С. 80-81.
13. Мосолов, В. В. Протеолитические ферменты/В.В. Мосолов.- Москва:Наука,1971. – 413с.
14. Гордиенко, И.М. Результат анализа зависимости количества выполненных и рудиментарных семян лотоса комарова от размера семенных коробочек/И.М. Гордиенко // Современные проблемы экологии животного и растительного мира: материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции. - Воронеж, 2021. - С. 108-111.
15. Получение аминокислот из белковых гидролизатов и автолизатов. – 2023. – URL: <https://lektsii.org/17-62201.html?ysclid=ln dg73isbe297389276> (дата обращения: 5.10.2023).
16. Технология хранения, переработки и стандартизации мяса и мясных продуктов/ Тимошенко, Патиева. – Сайт: сообщество технологов и микробиологов. – URL: <https://b2b-ingredient.ru/sprav/timoshenko-tekhnologiya-khraneniya-i-pererabotki-myasa/1640-13-2-obshchaya-kharakteristika-i-klassifikatsiya-fermentov?ysclid=ln eesr195r295279666> (дата обращения: 5.10.2023).

References

1. Kotliarov, V.V., Bagriantsev E.S. 2013. Vliianie ekzogennykh aminokislot na fotosinteticheskuiu aktivnost' rastenii soi// *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. (in Russian). **89**. P. 944-959.
2. Mokina, S.A., Pankratov I.U.V. 2019. Vliianie preparatov «Aminofol» i «Agromiks» na urozhainost' i kachestvo zernovykh kul'tur v proizvodstvennykh usloviakh ZAO «SHunga» Kostromskogo raiona//*Aktual'nye problemy nauki v agropromyshlennom komplekse: materialy 70-i mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. - Karavaevo: Kostromskaia GSKHA. (in Russian). P. 77-82.
3. Ullah, M.R., Akhter M., Khan A.B.S. 2022. Seaweed: a prominent source of protein and other nutrients.// *Sustainable Aquatic Research*. (in Russian). **2(2)**. P. 145-166.
4. Rudakov, O.B. 2020. Genotipicheskaiia izmenchivost' aminokislotnogo sostava belkov zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniia/ O.B. Rudakov, L.V. Rudakova, M.S. Buksha// *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. (in Russian) **20 (1)**. P. 8-21.
5. Soshnikova, T. N. 2013. Prooksidantnye i antioksidantnye svoistva prolina u rastenii i kul'tiviruemykh kletok *Thellungella salsuginea*: spetsial'nost' 03.01.05 «Fiziologiya i biokhimiia rastenii» dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata biologicheskikh nauk/ *Soshnikova Tat'iana Nikolaevna; institut fiziologii rastenii im. K.A. Timiriazeva RAN. Moskva*. 113p. (in Russian).
6. Rusanova L.A., Erashova L.D., Pavlova G.N., Ermolenko R.S., Artiukh L.V., Alekhina L.A. Patent no 2332867 Rossiiskaia Federatsiia MPK A23L 1/30, A23L 1/302, A23L 1/305. Sposob proizvodstva sbalansirovannogo po aminokislotnomu sostavu belkovo-vitaminogo kompozita iz istochnikov rastitel'nogo belka: opubl.10.09.2008. 2 p. (in Russian)
7. Bryndina, L.V., Baklanova O.V. 2019. Vliianie biologicheskii ochishchennogo osadka stochnykh vod na rost i razvitie dekorativnykh rastenii // (in Russian) *Lesotekhnicheskii zhurnal*. **9. (33)**. P. 23-30.
8. Ilydyrym, E. E., Il'ina L., Novikova N. 2016. Soevyi ili podsolnechnyi? // (in Russian) *ZHivotnovodstvo Rossii*. 1. P. 35-36.
9. Sokolov D.V., Bolkhonov B.A., ZHamsaranova S.D. 2023. Fermentativnyi gidroliz soevogo belka //(in Russian) *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. **53(1)**. P. 86-96.
10. Tumaikin, G.G., Borisenko E. G. 2018. Vliianie razlichnykh fermentnykh preparatov na gidroliz podsolnechnogo shrota //(in Russian) *Peredovye pishchevye tekhnologii: sostoianie, trendy, tochki rosta: materialy I mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. - *Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv. Moskva*. P. 157-164.
11. Singh B., Singh H., Kaur M. 2018. Foliar application of Amino Acids: A tool for improving fruit yield, quality and Biochemical Properties in Peach // *Applied Biological Research Year*. **20**. P. 177 – 183.- DOI: 10.5958/0974-4517.2018.00023.X

12. Fedulov I.U.P., Lishchenovskii M.I.U., Mal'tseva D.A.. 2015. Vliianie ekzogennykh aminokislot na rastiinia ozimoi pshenitsy sorta «Adel'» // (in Russian) *Molodoi uchenyi*. **9-2** (89). P. 80-81.
13. Mosolov V. V. 1071. Proteoliticheskie fermenty/V.V. Mosolov.- (in Russian) Moskva: Nauka. 413p.
14. Gordienko, I.M. 2021. Rezul'tat analiza zavisimosti kolichestva vypolnennykh i rudimentarnykh semian lotosa komarova ot razmera semennykh korobochek // (in Russian) *Sovremennye problemy ekologii zhivotnogo i rastitel'nogo mira: materialy Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. – Voronezh. P. 108-111.
15. Poluchenie aminokislot iz belkovykh gidrolizatorov i avtolizatorov. 2023. URL: <https://lektsii.org/17-62201.html?ysclid=Indg73isbe297389276> (date of access: 5.10.2023). (in Russian)
16. Tekhnologiya khraneniia, pererabotki i standartizatsii miasa i miasnykh produktov/ Timoshenko, Patieva. Sait: soobshchestvo tekhnologov i mikrobiologov. URL: <https://b2b-ingredient.ru/sprav/timoshenko-tekhnologiya-khraneniya-i-pererabotki-myasa/1640-13-2-obshchaya-kharakteristika-i-klassifikatsiya-fermentov?ysclid=Ineesr195r295279666> (data obrashcheniia: 5.10.2023). (in Russian)

Исаков И.Ю.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Полиморфизм размеров пыльцевых зёрен у полиплоидного
(берёза пушистая) и диплоидного (карельская берёза) видов берёзы
при разных способах опыления**

Аннотация. Изучение разнокачественности пыльцевых зёрен имеет не только теоретический, но и практический интерес. Известно, что виды деревьев с повышенной ploidy (три-, тетра-, пентаплоиды) имеют габитус больше, чем диплоиды. Особый интерес представляет получение триплоидных деревьев, поскольку у них из-за абберации хромосомного набора возможен соматический гетерозис. В настоящей работе приводятся данные по размерам пыльцы у селекционных форм берёзы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), и гибридов, где она использовалась в качестве материнского дерева, с интродуцированной берёзой бело-китайской (*B. albos-sinensis* Burk.) (в качестве донора пыльцы) и разных жизненных форм карельской берёзы (*B. pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Namet-Ahti). Для последней выявлена «штамбовая тенденция», заключающаяся в количественном преобладании пыльцы мелких размеров (17-22 мк) над более крупными классами размеров.

Ключевые слова: размер пыльцевого зерна, берёза пушистая, берёза карельская, гибрид

Isakov I.Yu.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Polymorphism of pollen grain sizes in polyploid (*Betula pubescens* Ehrh.) and
diploid (Karelian birch of different life forms) birch species obtained with
different pollination methods**

Abstract. The study of the heterogeneity of pollen grains has not only theoretical, but also practical interest. It is known that tree species with increased ploidy (tri-, tetra-, pentaploids) have a habitus greater than diploids. Of particular interest is the production of triploid trees, since somatic heterosis is possible in them due to the aberration of the chromosome set. This paper presents data on pollen sizes in breeding forms of downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.), hybrids and, where it was used as a mother tree, with the introduced White-Chinese birch (*B. albos-sinensis* Burk.) (as a

pollen donor) and a different vital species of Karelian birch (*B. pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hamet-Ahti). For the latter, a "stamp trend" was revealed, consisting in the quantitative predominance of pollen of small sizes (17-22 μm) over larger size classes.

Keywords: pollen grain size, fluffy birch, Karelian birch, hybrid

1. Введение

Семенной способ размножения характерен для подавляющего большинства лесных древесных пород. Семена являются основной структурной и функциональной единицей при воспроизводстве древесной растительности. Кроме того, мужской гаметофит является носителем генетической информации, необходимой для получения фертильных, жизнеспособных семян и впоследствии выращивания из них здорового, устойчивого к биотическим и абиотическим факторам внешней среды посадочного материала.

Палинология находит применение в решении многих вопросов биологии – эмбриологии видообразования, экологии, систематике и филогении. Пыльцевое зерно, как и семя, является носителем генетической информации. Кроме того, берёза относится к важным аллергенным таксонам в Европе. А частота аллергических реакций на её пыльцу колеблется от 6.8% до 57.4% у населения европейских стран. Берёза повислая также является модельным деревом для изучения реакции пыльца-пациент [1,2]. Механизм и общие принципы влияния потока генов с пыльцой на лесные экосистемы детально изучены в Финляндии [3] на примере главных лесообразующих пород страны – сосны и ели. И поэтому неслучаен интерес к пыльце как объекту исследований, который имеет ряд следующих особенностей: константность морфологических признаков, чрезвычайная стойкость оболочки в отношении разного рода агентов, как биологической природы [4], так и климатических [5], обилие и дальность переноса пыльцы в горизонтальном и вертикальном направлениях [6], наличие определенных морфологических особенностей пыльцевых зерен, характеризующих те или иные систематические группы и их генотипы [7].

Работами на растительных объектах показано, что геномные мутанты имеют разную по размерам пыльцу [8]. Поэтому определение размеров пыльцевых зерен может служить первым этапом в идентификации геномных мутантов (гаплоидов, полиплоидов, миксоплоидов). Карельская берёза – дерево с неустановленным таксономическим положением, являющееся редкой породой, согласно Красному списку Международного союза охраны природы она отнесена к категории 2 (EN), т. е. к числу исчезающих, находящихся в опасном состоянии видов [9].

Задачами настоящего исследования были: 1. Изучить влияние способа опыления у F_1 и I_1 березы пушистой и некоторых гибридов с её участием на гетерогенность (разнокачественность) размеров пыльцевых зерен; 2. Выявить зависимость размеров пыльцы от фенотипического проявления признака «карелистости» у контрастных по этому признаку форм карельской березы.

Была изучена зрелая пыльца у трех гибридов березы: а) Берёза пушистая 2 х Б. бело-китайская; б) Б. пушистая 4 х Б. бело-китайская; в) Б. пушистая 1 х Б.

бело-китайская; а также у семенного потомства двух материнских деревьев березы пушистой первого поколения аутбредного и инбредного происхождения и у семенного потомства карельской березы разных жизненных форм.

2. Материалы и методы

На специально созданном объекте ЕГСК (Единого Генетико-Селекционного Комплекса) – испытательных культурах берёзы F₁, произрастающих в 298 кв. Воронежского государственного природного биосферного заповедника пыльца была собрана за две недели до цветения в бумажные пакеты, высушивались в течение 3-5 суток. Перед просмотром в микроскопе (МИКРОМЕД-6) пыльцу окрашивали ацетокармином 20 минут. Замерялись по 100 пыльцевых зёрен в разных полях зрения. За размер пыльцевого зерна принимался его экваториальный диаметр.

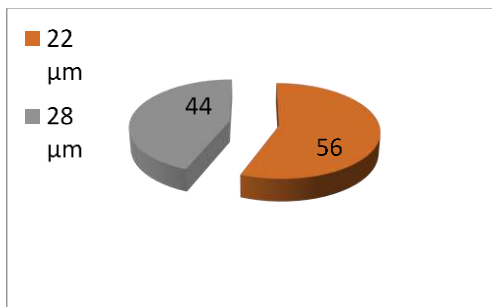
3. Результаты и обсуждение

Живые пыльцевые зерна берёз зеленовато-желтого цвета. Пыльцевые зерна берёз изополярные (равнополюсные) и радиально-симметричные. Их форма почти сплюснутая. При полярном положении очертания пыльцы берёз варьируют от округлых до треугольно-округлых, при экваториальном – от широко-эллиптических до удлинённо-эллиптических. Пыльцевые зерна берёз обычно трехпоровые, реже 4-5 – поровые. Диаметр пыльцы у берёзы повислой колеблется от 18 до 30 μm (микрометр) [10].

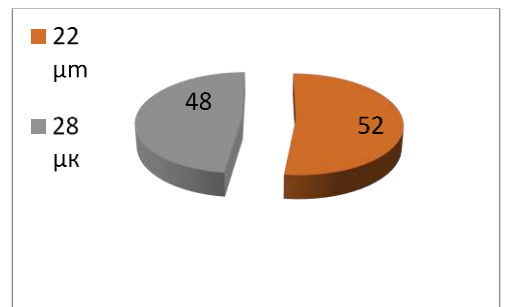
При анализе характера распределения размеров пыльцы нужно иметь в виду, что гибриды некоторых видов берёз образуют полностью стерильные семена (у отдельных гибридов берёзы пушистой х б. бело-китайскую инбредного и аутбредного происхождения лабораторная всхожесть равна нулю). Выделено шесть классов размеров пыльцевых зерен, модальные значения которых в порядке возрастания расположились так: 17 μm , 22 μm , 28 μm , 33 μm , 39 μm и 44 μm .

У трех гибридов б. пушистая 2 х б. бело-китайская (рис. 1 а, б, в) выявлена следующая закономерность: по морфологическим показателям все пыльцевые зерна разделились на две группы. В первой – пыльцевые зерна имели преимущественные размеры 22 μm и 28 μm , во второй – с небольшим преобладанием пыльцы меньших размеров, гетерогенность не обнаружена.

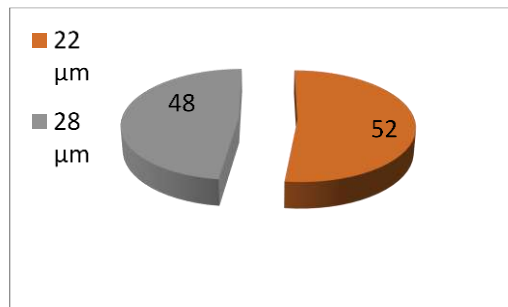
Гибриды б. пушистая 1 х б. бело-китайская (рис. 2) имеют пыльцу трех классов размеров: 17, 22 и 28 μm и 22, 28 и 33 μm , соответственно.



а

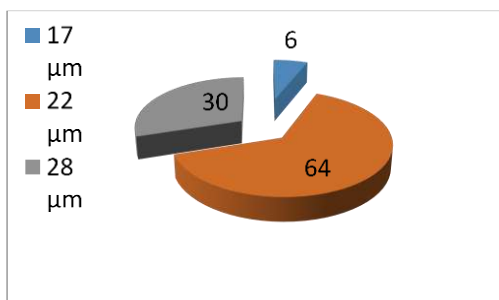


б

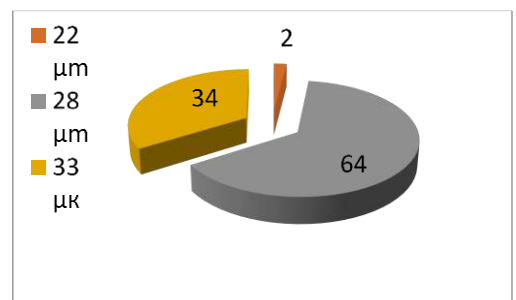


в

Рис. 1 Гибриды б. пушистая 2 х б. бело-китайская



а



б

Рис. 2 Гибрид б. пушистая 1 х б. бело-китайская

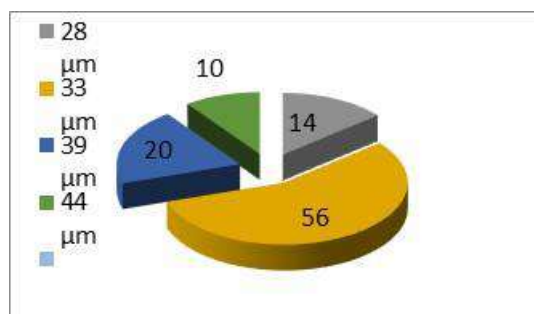


Рис. 3 Гибрид б. пушистая 4 х б. бело-китайская

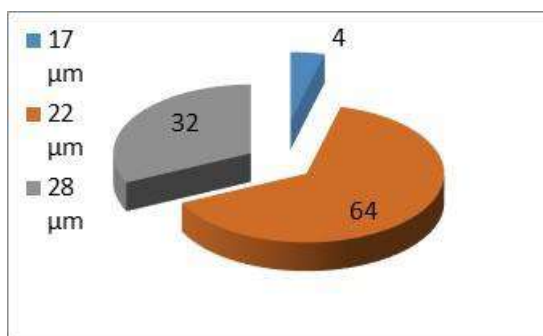
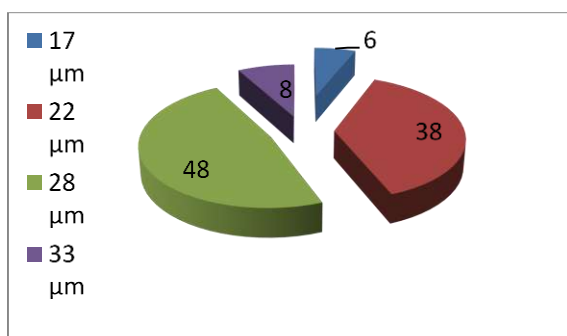
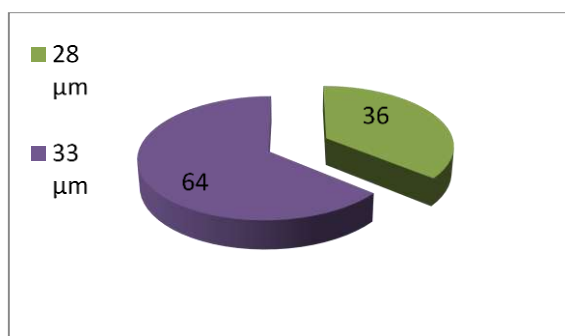


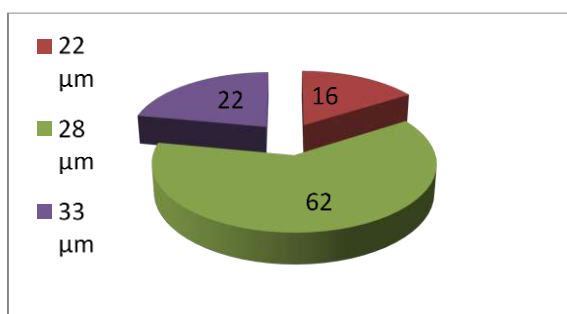
Рис. 4 Б. пушистая 18, самоопыление



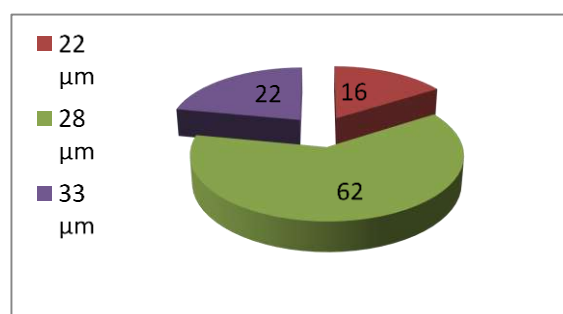
а



б

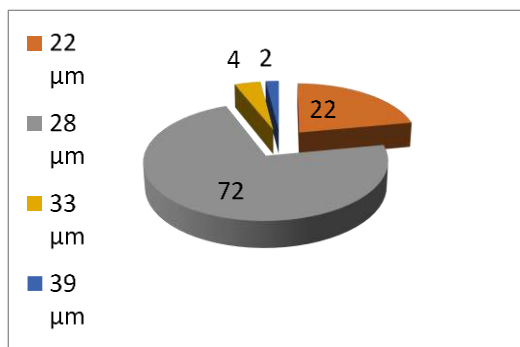


в

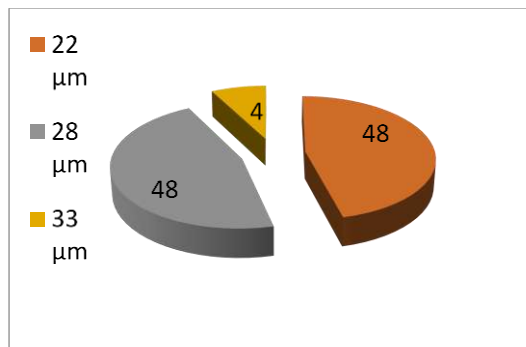


г

Рис. 5 Б. пушистая 18, свободное опыление

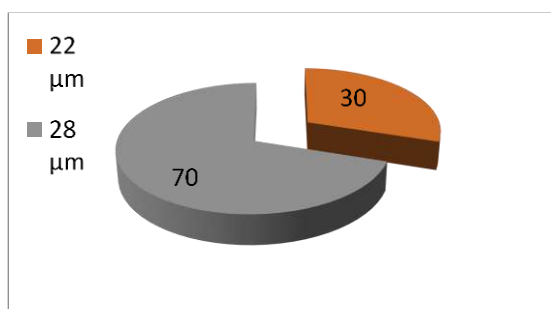


а

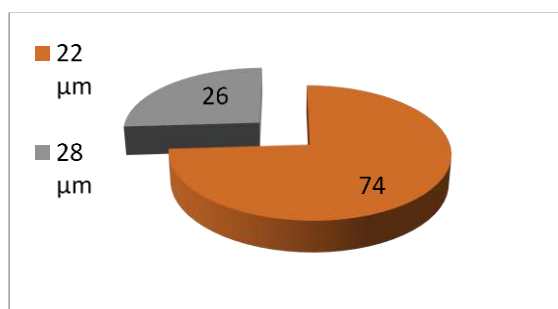


б

Рис. 6 Б. пушистая 11, самоопыление

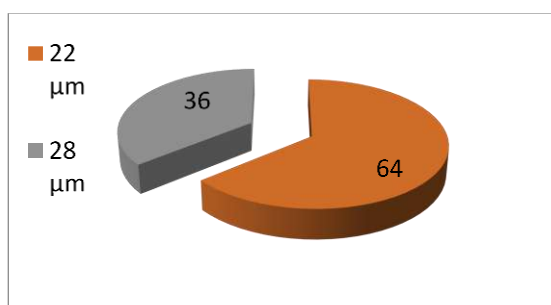


а

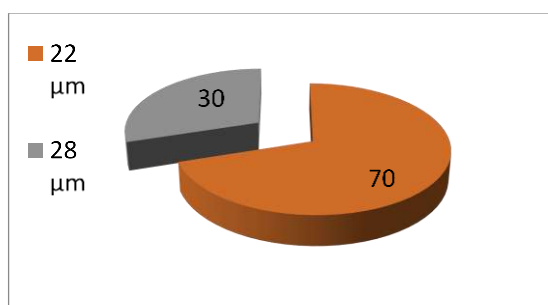


б

Рис. 7 Б. пушистая 11, свободное опыление



а



б

Рис. 8 Карельская берёза, штамбовая форма

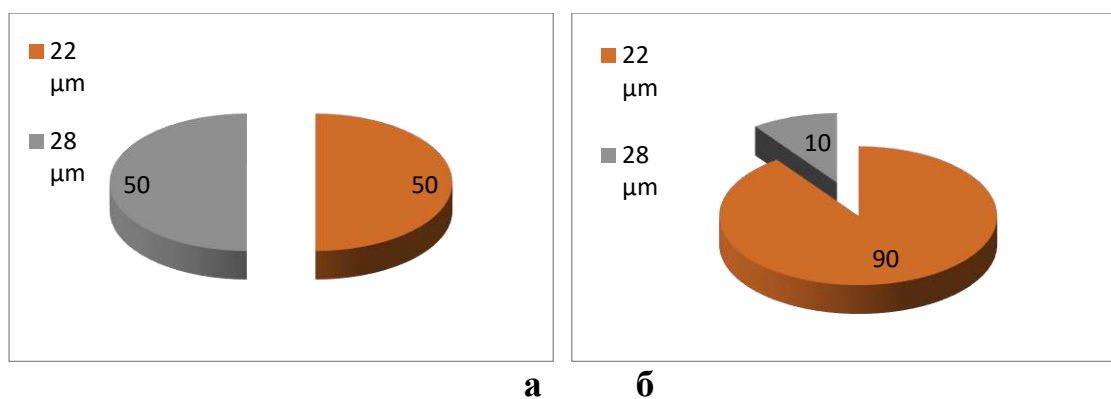


Рис. 9 Карельская берёза, лировидная форма.

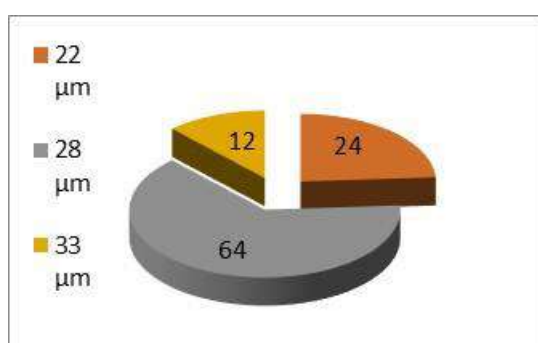


Рис. 10 Карельская берёза, полукустовидная форма

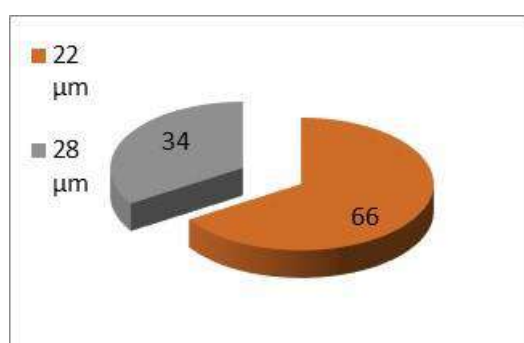
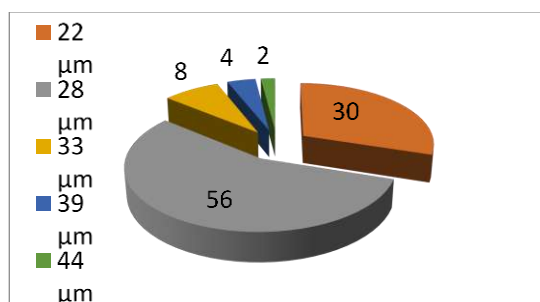
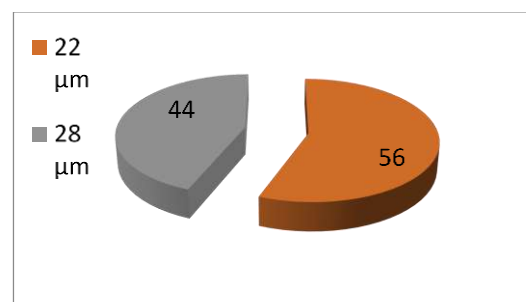


Рис. 11 Карельская берёза, кустовидная форма



а



б

Рис. 12 Карельская берёза, форма без внешнего проявления признака

У гибрида б. пушистая 4 х б. бело-китайская (рис. 3) выявлен значительный полиморфизм пыльцы по размерам. Модальный класс имел размеры пыльцы в 33 μm. При просмотре обнаружены крупные единичные пыльцевые зерна с диаметром ок. 44 μm. Распределение кривой размеров пыльцевых зерен близко к нормальному.

У инбредного потомства берёзы пушистой (Б-18, самостерильная форма, рис. 4) наблюдается смещение морфометрических показателей пыльцы в сторону классов меньших размеров (самым многочисленным оказался класс в 22 μm). Гетерогенность пыльцы была также не велика. Материнское дерево № 18 является самостерильным и имеет более гетерогенную пыльцу (рис. 5 а, б, в, г).

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что увеличение размеров пыльцы не влияет на жизнеспособность инбредных семян. Более того, у самостерильной формы б. пушистой, которая характеризовалась мелкими пыльцевыми зёрнами, происходило образование небольшого количества жизнеспособных инбредных семян, а позднее сеянцев и деревьев.

По результатам изучения лабораторной всхожести инбредных и аутбредных семян материнское дерево № 11 (Рис. 6, 7) было отнесено к категории самостерильных [11] (всхожесть инбредных семян равна нулю). Это дерево характеризовалось пыльцой средних размеров. Однако у одного экземпляра (рис. 6 а) выявлена гетерогенная по размерам пыльца.

Пыльца потомства березы пушистой аутбредного происхождения не показала четко выраженного распределения пыльцевых зёрен по размерам. У изученных форм аутбредного потомства б. пушистой № 18 пики численности приходится на разные классы размеров пыльцевых зёрен. По предварительным данным можно сказать, что каждому дереву свойственно определённое числовое соотношение размеров пыльцевых зёрен, относящихся к разным классам, т.е. этот количественный признак может закрепляться генотипически. Встречаются единичные формы, которые обладают мелкими (17 μm), средними (22-28 μm) и крупными пыльцевыми зёрнами (44 μm).

Ранее [12] предпринимались попытки классификации карельской берёзы по жизненным формам. По росту в высоту и форме ствола все изученные деревья карельской березы нами были подразделены на четыре группы: 1. Штамбовые (высокоствольные) – имеют явно выраженный ствол, а шарообразные утолщения обнаруживаются как на стволе, так и на ветвях первого порядка; 2. Полукустовидные (низкоствольные) – штамп высотой до 40 – 50 см, крона с небольшим ветвлением (2 – 3 вершинки), негустой кроной, на штамбе выражены признаки «карелистости»; 3. Кустовидные – имеют штамп высотой до 20 – 30 см, крона раскидистая с большим ветвлением, штамп с признаками «карелистости»; 4. Контроль – деревья выращенные из семян карельской березы, но не имеющие никаких её внешних признаков.

У штамбовых форм (рис. 8 а, б) характер распределения размеров пыльцевых зёрен является однотипным. Количественно преобладает мелкая пыльца (22 μm). Пыльцы более крупных размеров деревья этой формы образуют значительно меньше, её вклад составляет от 18 до 38 %. Таким образом, у штамбовых форм карельской березы гетерогенность пыльцы выражена довольно слабо.

У лировидной формы (рис. 9 а, б) выявлено две формы распределения пыльцы по размерам: у одного дерева её количество двух основных размеров (22 и 28 μm) представлено в одинаковых пропорциях (по 50 пыльцевых зёрен), у другого – «штамбовая тенденция» - количественно преобладает мелкая пыльца – 86 %, остальная доля приходится на класс более крупной пыльцы.

Полукустовидная форма (рис. 10) карельской березы образует пыльцевые зёрна, частота представленных классов у которых соответствует закону нормального распределения, с пиком на класс с размером в 28 μm .

У кустовидной формы (рис. 11) характер распределения размеров пыльцы соответствует «штамбовой тенденции», мелкая пыльца составляет 68 %, более крупная – 32 %.

Замеры диаметра пыльцевых зерен у контроля (деревья с невыраженным признаком «карелистости») дали следующие результаты: у одного дерева (рис. 12 а) обнаружена гетерогенность пыльцы (представлено пять классов размеров) с модальным классом в 28 μm . Кривая по соотношению пыльцевых зерен имеет ассиметричный характер, больше групп с крупным размером пыльцы (2% пыльцевых зерен из выборки имели диаметр 44 μm , что в 1,8 раза превышает среднегрупповое значение). У другого дерева классы размеров пыльцевых зерен представлены примерно одинаково: 56 : 44 у одного и 50 : 50 у другого.

4. Заключение

В связи с обнаружением гетерогенности пыльцы по размеру в контрольной группе деревьев можно предположить, что, поскольку у некоторых индивидуумов образуются пыльцевые зерна разных размеров, а у некоторых – однотипные, то возможно и наличие разных генотипов указанных деревьев, в частности, геномных мутантов, что можно проверить, применив одну из схем скрещивания и получив расщепление по этому признаку.

Изученные виды и формы берез обладают большим полиморфизмом по размерам пыльцевых зерен. Изменчивость по этому признаку выражается на индивидуальном уровне.

У местного вида березы (*Betula pubescens* Ehrh.) в проявлении полиморфизма пыльцевых зерен у потомства отмечается та же закономерность, что и для роста в высоту и диаметра ствола, а именно: у потомства самостерильной формы большие размеры пыльцевых зерен выявлены при свободном опылении, а у потомства самофертильной формы – при самоопылении. И хотя эта закономерность проявляется как тенденция, тем не менее и для такого признака, который используется в систематике, показано влияние уровня самофертильности и способа опыления.

Выявлена тенденция к уменьшению размеров пыльцевых зерен у штамбовых форм карельской березы по сравнению с полукустовидными и кустовидными. У форм без внешнего проявления признака «карелистости» обнаружены деревья, различающиеся по количеству классов размеров пыльцы, у одних она гетерогенна по составу, у других гетерогенность не выявлена. Разные жизненные формы карельской березы продуцируют характерные по размерам пыльцевые зерна: наибольшие (по средним значениям) полукустовидные формы, наименьшие – штамбовые и кустовидные формы. Предполагается, что этот признак обусловлен генотипически.

Наибольшей изменчивостью размеров пыльцевых зерен обладают межвидовые гибриды и семьи карельской березы. Эти деревья используются в селекционных программах по созданию карбонового полигона в Воронежской области и плантационных культур F₂.

Список литературы

1. Kubik-Komar A Piotrowska-Weryszko K Kuna-Broniowska I Weryszko-Chmielewska E Kaszewski BM 2021 Analysis of changes in *Betula* pollen season start including the cycle of pollen concentration in atmospheric air. PLoS ONE **16(8)**: e0256466. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256466>
2. Ziemianin M Waga J Czarnobilska E. *et al.* Changes in qualitative and quantitative traits of birch (*Betula pendula*) pollen allergenic proteins in relation to the pollution contamination 2021 *Environ Sci Pollut Res* **28**, 39952–39965. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13483-8>
3. Koski V A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers 1970 *Comm Inst For Fenn* **4** 78
4. Bona A Kłosowski S Jadwiszczak KA *et al* Flowering and quality of seeds and pollen in endangered populations of *Betula humilis* 2022 *Trees* **36** 313–324 <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02207-7>
5. Rousi M J M H Possen Boy Pulkkinen P Mikola J Using long-term data to reveal the geographical variation in timing and quantity of pollen and seed production in silver and pubescent birch in Finland: Implications for gene flow, hybridization and responses to climate warming 2019 *Forest Ecology and Management* **438** 25-33 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.001>
6. Krišāns O Čakša L Matisons R Rust S Elferts D Seipulis A Jansons Ā A Static Pulling Test Is a Suitable Method for Comparison of the Loading Resistance of Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) between Urban and Peri-Urban Forests 2022 *Forests* **13** 127. <https://doi.org/10.3390/f13010127>
7. Shi H Ambika Manirajan B Ratering S *et al* *Robbsia betulipollinis* sp. nov., Isolated from Pollen of Birch (*Betula pendula*) 2023 *Curr Microbiol* **80**, 234 <https://doi.org/10.1007/s00284-023-03344-7>
8. Буторина А К Факторы эволюции кариотипов древесных Успехи современной биологии 1989 108 **3 (6)** 342-357.
9. Ветчинникова Л В Титов А Ф Карельская береза: ареал и ресурсы 2020 учебное пособие Петрозаводск КарНЦ РАН 59
10. Raith M and Swoboda I 2023 Birch pollen The unpleasant herald of spring *Front Allergy* **4:1181675** doi: 10.3389/falgy.2023.1181675
11. Isakov I Yu The effect of a single inbreeding on the growth and development of fast-growing tree species, *betula pendula* and *betula pubescens* 2021 In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science "International Forestry Forum "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions"" **12014** DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012014
12. Любавская А Я Карельская береза 1978 М Лесная пром-сть 158

References

1. Kubik-Komar A Piotrowska-Weryszko K Kuna-Broniowska I Weryszko-Chmielewska E Kaszewski BM 2021 Analysis of changes in *Betula* pollen season start

including the cycle of pollen concentration in atmospheric air. PLoS ONE **16(8)**: e0256466. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256466>

2. Ziemianin M Waga J Czarnobilska E. *et al.* Changes in qualitative and quantitative traits of birch (*Betula pendula*) pollen allergenic proteins in relation to the pollution contamination 2021 *Environ Sci Pollut Res* **28**, 39952–39965. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13483-8>

3. Koski V A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers 1970 *Comm Inst For Fenn* **4** 78

4. Bona A Kłosowski S Jadwiszczak KA *et al* Flowering and quality of seeds and pollen in endangered populations of *Betula humilis* 2022 *Trees* **36** 313–324 <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02207-7>

5. Rousi M J M H Possen Boy Pulkkinen P Mikola J Using long-term data to reveal the geographical variation in timing and quantity of pollen and seed production in silver and pubescent birch in Finland: Implications for gene flow, hybridization and responses to climate warming 2019 *Forest Ecology and Management* **438** 25-33 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.001>

6. Krišāns O Čakša L Matisons R Rust S Elferts D Seipulis A Jansons Ā A Static Pulling Test Is a Suitable Method for Comparison of the Loading Resistance of Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) between Urban and Peri-Urban Forests 2022 *Forests* **13** 127. <https://doi.org/10.3390/f13010127>

7. Shi H Ambika Manirajan B Ratering S *et al* *Robbsia betulipollinis* sp. nov., Isolated from Pollen of Birch (*Betula pendula*) 2023 *Curr Microbiol* **80**, 234 <https://doi.org/10.1007/s00284-023-03344-7>

8. Butorina A K Factors of evolution of tree karyotypes Successes of modern biology 1989 *108* 3 (6) 342-357.

9. Vetchinnikova L V Titov A F Karelian birch: area and resources 2020 textbook Petrozavodsk KarSC RAS 5910. Raith M and Swoboda I 2023 Birch pollen The unpleasant herald of spring *Front Allergy* **4:1181675** doi: 10.3389/falgy.2023.1181675

11. Isakov I Yu The effect of a single inbreeding on the growth and development of fast-growing tree species, *Betula pendula* and *Betula pubescens* 2021 In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science "International Forestry Forum "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions"" **12014** DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012014

12. Lyubavskaya A Ya Karelian birch 1978 *M Lesnaya prom-st* 158 p.

**Корчагина А.Ю., Ходосова Н.А.,
Жужукин К.В., Томина Е.В.**
*Воронежский государственный лесотехнический университет
им. Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Характеризация биоуглей, полученных карбонизацией опилок березы и сосны, как сорбционных материалов

Аннотация. Использование отходов лесопиления для получения древесных углей при карбонизации является актуальным способом повышения ценности отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности. В работе получены образцы биоугля из березовых и сосновых опилок при карбонизации и осуществлена их активация щелочным раствором и ультразвуком. По данным РЭМ щелочная активация способствует получению материалов с большей удельной поверхностью и объемом микропор. Ультразвуковое воздействие приводит к расслоению в структуре углеродных материалов, что оказывает влияние на пористость. В результате комплексной активации образцов отмечается значительное увеличение насыпной плотности биоугля в 2,3 раза, что связано с уменьшением размера частиц образцов. Такие изменения служат основанием для повышения сорбционной способности биоугля.

Ключевые слова: древесные отходы березы, древесные отходы сосны, карбонизация, щелочная активация, ультразвук, биоуголь

**Korchagina A.Y., Khodosova N.A.,
Zhuzhukin K.V., Tomina E.V.**
*Voronezh State University of Forestry and Techniologies
named after G.F. Morozov, Voronezh*

Characterization of bio-coals obtained by carbonation of birch and pine sawdust as sorption materials

Abstract. The use of sawmill waste to produce charcoal during carbonation is an urgent way to increase the value of waste from the forestry and woodworking industry. In the work, samples of bio-coal from birch and pine sawdust were obtained during carbonation and their activation with an alkaline solution and ultrasound was carried out. According to SEM data, alkaline activation contributes to the production of materials with a larger specific surface area and micropore volume. Ultrasonic exposure leads to delamination in the structure of carbon materials, which affects porosity. As a result of the complex activation of the samples, there is a significant increase in the bulk density of biochar by 2.3 times, which is associated with a decrease

in the particle size of the samples. Such changes serve as the basis for increasing the sorption capacity of bio-coal.

Keywords: birch wood waste, pine wood waste, carbonation, alkaline activation, ultrasound, bio-coal.

Введение. Общая площадь лесов России - около 1,2 млрд. га, на площадь лесов Воронежской области приходится порядка 501,7 тыс. га. Объем заготовки древесины по итогам полугодия 2023 г. составил 167,6 тыс. куб. м [1], При этом ежегодно остается около 40% древесных отходов, которые являются ценными сырьевыми ресурсами. Для рационального использования природных ресурсов значительная часть этих отходов должна быть переработана в ликвидную продукцию.

Одним из возможных решений является создание новых сорбционных материалов, удовлетворяющих следующим требованиям: доступность, экономичность, высокая сорбционная способность, устойчивость к агрессивным средам. Углеродные материалы растительного происхождения являются самыми дешевыми и возобновляемыми ресурсами. Использование отходов лесопиления для получения древесных углей при карбонизации является актуальным способом повышения ценности отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности путем превращения их в сорбенты для удаления тяжелых металлов из сточных вод.

Карбонизация биомассы пиролизным способом позволяет решить проблему утилизации органических отходов, очистки воды, а также поддерживает закон РФ № 7 «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 (Федеральный закон №7-ФЗ., 2002).

Так, К.О. Крысановой с соавторами рассмотрен способ низкотемпературной карбонизации опила, однако отмечалось, что при низких температурах процесса наблюдалось выщелачивание минеральных компонентов [2].

Чесноков Н.В. осуществил подбор оптимальных условий углеродных сорбентов, получив нанопористые материалы щелочной активацией древесных отходов [3].

М. Kalivoshko была предложена технология получения углеродных сорбентов методом карбонизации и побочных продуктов растительного происхождения для очистки воды от нефтепродуктов [4].

В последние годы получение биоуглей активно занимаются в Китае: Chen F. [5], Bin-Hai Cheng и Bao-Cheng Huang исследуют оптимальные условия получения лигноцеллюлозного биоугля из растительной биомассы [6].

Получаемый при пиролизе уголь может обладать различными характеристиками, зависящими от технологии производства, а также используемых для пиролиза органических материалов. Поэтому основной целью данного исследования являлась оценка влияния пород древесины на получение биоугля.

Материалы и методы. В качестве сырья в работе использованы отходы лесопиления - опилки березы повислой (лат. *Bétula péndula*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) размер фракции 1 мм.

Карбонизацию осуществляли при температуре 400°C, в закрытом реакторе, скорость нагрева 10°C/мин. Период карбонизации составляет 5 ч. Физико-химическую активацию проводили комплексно 2 М раствором гидроксида калия при воздействии на образцы ультразвуком в течении 30 минут. После активации образцы отмывали дистиллированной водой до pH ~ 7 и сушили при температуре 105 – 110°C [7].

Определение морфологии поверхности образцов проводили методом растровой электронной микроскопии (РЭМ, JSM-6380LV JEOL с системой микроанализа INCA 250).

Результаты. Биоуголь состоит из стабильных соединений углерода, которые образуются из биомассы в процессе пиролиза при температуре 300-1000 °С. Структурный и химический состав – очень гетерогенный. От физико-химических свойств биоугля зависят не только его функциональность, но и пригодность разных его видов для конкретной области применения [8]. В работе рассмотрены отходы лесопиления - опилки березы повислой и сосны обыкновенной.

Древесина березы износостойка, устойчива к ударным нагрузкам. Плотность древесины берёзы составляет около 650 кг/м³ (при относительной влажности древесины 12—15 %), таким образом, древесина берёзы занимает место между среднетяжёлыми и тяжёлыми сортами, при относительной мягкости. Эластичная и вязкая, древесина берёзы имеет среднюю прочность на сгиб, трудно раскалывается. Из берёзы получают высококачественную целлюлозу, которая перерабатывается затем в бумагу, картон и прекурсоры для получения химических волокон. Побочным продуктом пиролиза является – дёготь, который используется в медицине и ветеринарии [9].

Древесина сосны характеризуется высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами, хорошо поддается обработке, лёгкая, обладает высокой плотностью и прочностью, отличается повышенной смолистостью, благодаря чему устойчива к биодеградации и воздействию атмосферных явлений [10]. Популярность сосны как пиломатериала обусловлена невысокой стоимостью материала по сравнению с лиственными породами, например, дубом. Широко используется в строительстве, изготовлении мебели, при производстве опилкобетонов, получения древесных углей (биоуглей), в сельском хозяйстве как мульча для растений.

Сравнительное содержание органических веществ в древесине представлено в таблице.

Таблица 1 - Содержание органических веществ в древесине						
	Целлю- лоза, %	Лигнин, %	Пентоза- ны, %	Гексоза- ны, %	Зола, %	Экстрактив- ные вещества, %
Береза	33,7	22,8	22,2	4,9	0,2	2,0
Сосна	42,9	29,5	10,8	12,8	0,32	3,2

Из таблицы 1 видно, что древесина хвойных пород содержит повышенное количество целлюлозы и гексозанов, а для древесины лиственных пород характерно высокое содержание пентозанов.

Широкое применение в производственном процессе этих пород древесины дает большую сырьевую базу. Интерес к биоуглям из древесной биомассы в настоящее время обусловлен их сорбционными свойствами.

В процессе карбонизации древесных опилок березы получен биоуголь размером частиц до 160 мкм. (выход углеродного сорбента ~25%), насыпной плотностью 141,48 г/л с нейтральной кислотностью поверхности.

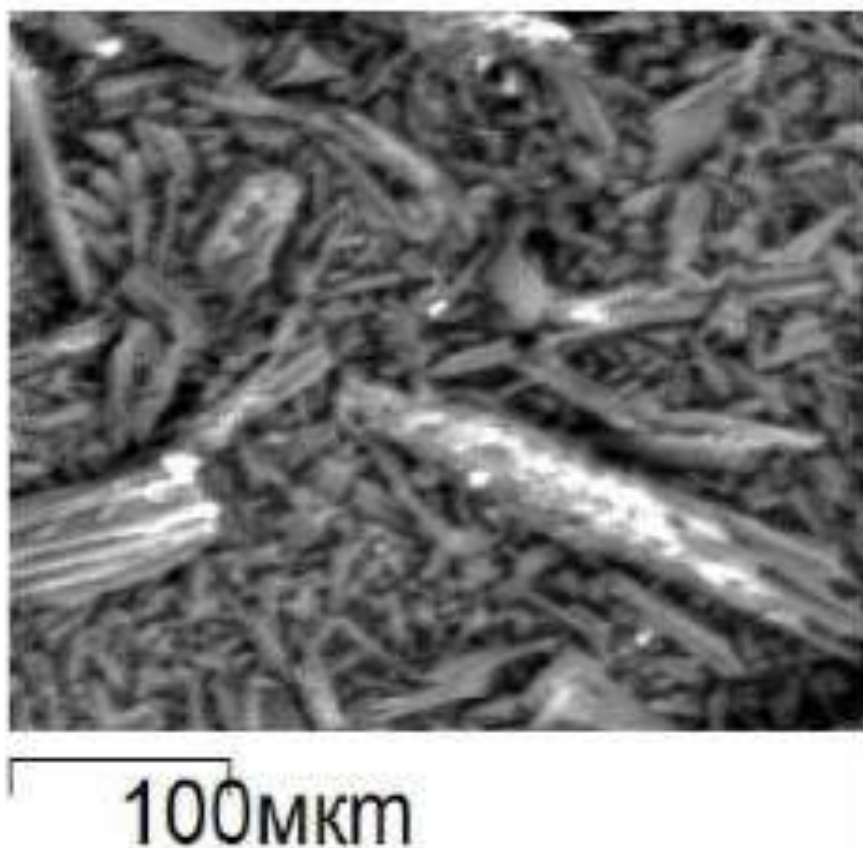


Рисунок 1 - РЭМ- изображение частиц биоугля после карбонизации березовых опилок

Карбонизацией древесных опилок сосны обыкновенной (выход углеродного сорбента ~21%) получен биоуголь с дисперсией частиц в интервале 30-125 мкм, преобладающей фракцией с размером 60-80 мкм, насыпной плотностью 145.57г/л, рН поверхности – 6.5 (рисунок 2).

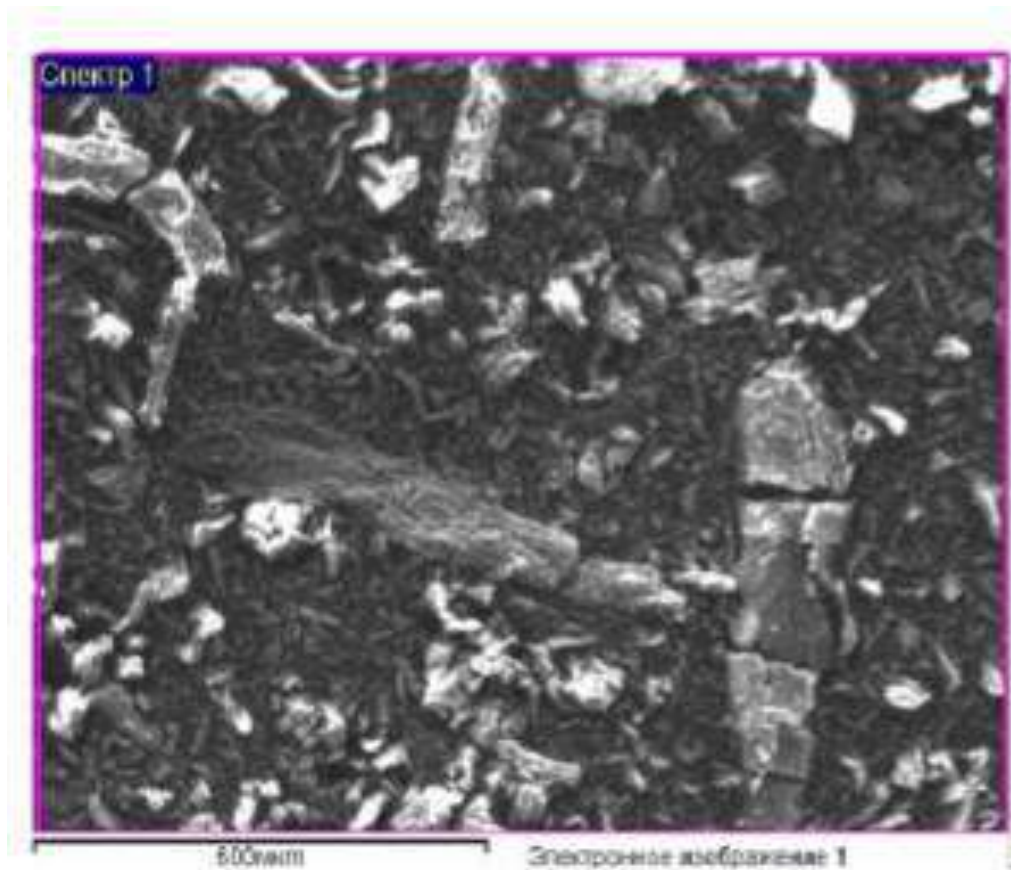


Рисунок 2 - РЭМ- изображение частиц биоугля после карбонизации сосновых опилок

Одним из оптимальных способов переработки органических отходов является их обугливание в пиролизных печах (Юдкевичи др., 2002).

Применение карбонизирования биомассы пиролизным способом позволяет решить

проблему утилизации органических отходов, а также поддерживает закон РФ №7 «Об охране

окружающей среды» от 10.01.2002 (Федеральный закон №7-ФЗ., 2002).

Одним из оптимальных способов переработки органических отходов является их

обугливание в пиролизных печах (Юдкевичи др., 2002).

Применение карбонизирования биомассы пиролизным способом позволяет решить

проблему утилизации органических отходов, а также поддерживает закон РФ №7 «Об охране

окружающей среды» от 10.01.2002 (Федеральный закон №7-ФЗ., 2002).

Элементный анализ показал количественное содержание атомов углерода, кислорода и водорода в образцах (таблица 2).

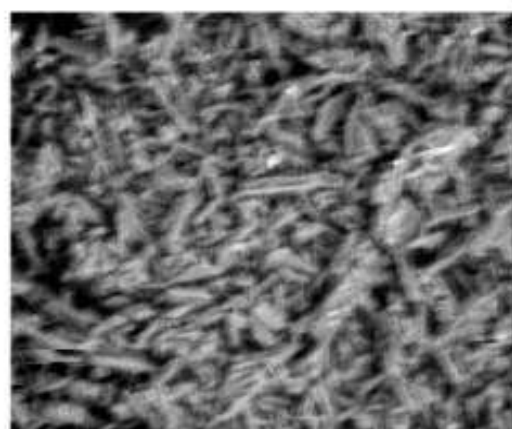
**Таблица 2 - Физико-химическая характеристика биоугля
после карбонизации**

Биоуголь	C, %	O, %	H, %	Влажность, %	Насыпная плотность, г/л	pH
сосна	81,94	15,78	2,16	3,5	145,57	6,5
береза	82,5	23,22	2,7	4,3	141,48	7,0

Для повышения сорбционной способности проводили физико-химическую активацию частиц угля 2 М раствором гидроксида калия при воздействии на образцы ультразвуком в течение 30 минут [7].

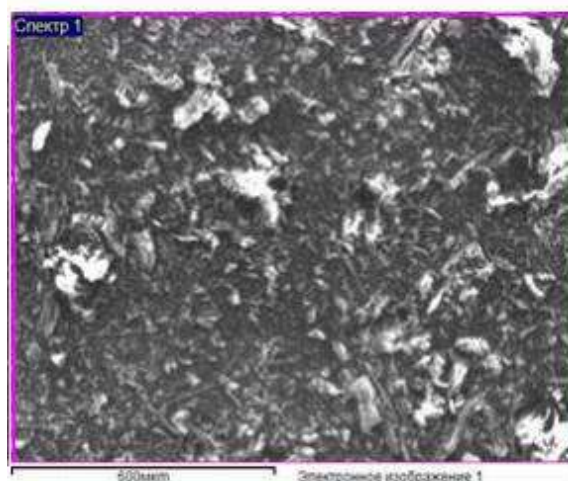
Химическое воздействие на биоугли приводит к изменениям функциональных групп на поверхности материала, ультразвуковая обработка приводит к изменению дисперсности системы [11].

Модификация образцов способствовала возрастанию удельной поверхности и пористости образцов, именно эти характеристики оказывают наибольшее влияние на сорбционную способность материалов (рисунок 3).



100мкм

а



б

**Рисунок 3 - РЭМ-изображения частиц модифицированного биоугля
березовых (а) и сосновых (б) опилок**

На снимках отмечается, что светлые участки характеризуются более низким содержанием углерода и более высоким - кислорода и минеральных компонентов, увеличение контрастности зёрен биоуглей и их термопродуктов можно связать с концентрированием углерода.

Насыпная плотность биоугля из опилок сосны после активации повысилась, что связано, с уменьшением размера частиц биоугля (согласно данным РЭМ). После щелочной активации значение pH образцов увеличилось, что связано с взаимодействием функциональных групп кислотного характера с гидроксидом калия (таблица 2). Воздействие ультразвуком способствовало разрыхлению микроструктуры древесных клеток.

Таблица 2 - Физико-химические характеристики модифицированного угля

Биоуголь	Влажность, %	Насыпная плотность, г/л	pH
из сосновых опилок	3,5	335,4	7,2
Из березовых опилок	4,3	334,6	7,4

Физико-химическая модификация биоугля из опилок березы и сосны приводит к росту насыпной плотности в 2.3 раза, что связано с уменьшением дисперсии частиц до 100 мкм при увеличении содержания частиц размером 20-60 мкм в активированном биоугле.

Заключение. Физико-химическая активация углеродных образцов улучшает качество сорбента. Щелочная активация, способствует получению материалов с большей удельной поверхностью и объемом микропор. Ультразвуковое воздействие приводит к расслоению в структуре углеродных материалов, что оказывает влияние на пористость. В результате комплексной активации образцов отмечается значительное увеличение насыпной плотности биоугля в 2,3 раза, что связано с уменьшением размера частиц образцов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00122.

Список литературы

1. Лесозаготовка по итогам полугодия 2023 г. URL: <https://www.lesonline.ru/news/id/649974-lesozagotovka-po-itogam-polugodiya-2023-g?ysclid=lnbvvc1gcd832491163>
2. Крысанова, К.О. Исследование минеральных компонентов биоуглей из опила, полученных низкотемпературными методами / К.О. Крысанова, А.Ю. Крылова, Я.Д. Пудова и др. // Уголь. 2021. №12. С. 41-43. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-41-43.
3. Чесноков, Н.В. Получение углеродных сорбентов химической модификацией ископаемых углей и растительной биомассы/ Н.В. Чесноков, Н.М. Микова, И.П. Иванов, Кузнецов Б.Н.// Журнал сибирского федерального университета. 2019. 12(3). С.423-433.
4. Kalivoshko, M. Technological essence of carbon production sorbents based on vegetable raw materials and their economic efficiency/ M. Kalivoshko, O. Kalivoshko // 2021. DOI:10.31548/machenergy2021.04.021
5. Chen F., Ji Y., Deng Y., Ren F., Tan S., Wang Z. Ultrasonic-assisted fabrication of porous carbon materials derived from agricultural waste for solid-state supercapacitors. Journal of Materials Science. 2020 55 11512–11523. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04751-y>

6. Bin-Hai Cheng. Bio-coal: A renewable and massively producible fuel from lignocellulosic biomass/ Bin-Hai Cheng, Bao-Cheng Huang [and e.t.] // *Science Advances*, 2020.6(1).DOI:10.1126/sciadv.aay0748

7. Томина, Е.В. Создание, модификация и исследование свойств углеродного сорбента на основе опилок сосны / Е.В. Томина, Н.А. Ходосова, В.Е. Мануковская// Разработка энергоресурсосберегающих и экологически безопасных технологий лесопромышленного комплекса. 2022. С. 108-114. DOI: 10.58168 /DESEFTTI2022_108-114

8. Sajjadi B., Chen W.Y., Egiebor N.O. A comprehensive review on physical activation of biochar for energy and environmental applications. *Reviews in Chemical Engineering*. 2019. 35. 735–776. <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0113>

9. Полубояринов О.И. Плотность древесины. L.: Chemistry, 1973, 76 с.

10. Ребко, С.В. Сравнительная оценка физико-механических свойств древесины различных климатипов сосны обыкновенной / С.В. Ребко, П.Г. Мельник, А.В. Козел, Л.Ф. Поплавская, П.В. Тупик, В.В. Носников// Известия вузов. Лесной журнал. 2023. 4. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-26-40

11. Peter A., Chabot B., Loranger E. Enhanced activation of ultrasonic pre-treated softwood biochar for efficient heavy metal removal from water. *Journal of Environmental Management*. 2021. 290. 112569 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112569>

References

1. Logging according to the results of the first half of 2023 <https://www.lesonline.ru/news/id/649974-lesozagotovka-po-itogam-polugodiya-2023-g?ysclid=lnbvvc1gcd832491163>

2. Krysanova, K.O. Investigation of mineral components of bio-coals from sawdust obtained by low-temperature methods / K.O. Krysanova, A.Y. Krylova, Ya.D. Pudova et al. // *Coal*. 2021. No.12. pp. 41-43. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-41-43.

3. Chesnokov, N.V. Obtaining carbon sorbents by chemical modification of fossil coals and plant biomass/ N.V. Chesnokov, N.M. Mikova, I.P. Ivanov, Kuznetsov B.N.// *Journal of the Siberian Federal University*. 2019. 12(3). pp.423-433.

4. Kalivoshko, M. Technological essence of carbon production sorbents based on vegetable raw materials and their economic efficiency/ M. Kalivoshko, O. Kalivoshko // 2021. DOI:10.31548/machenergy2021.04.021

5. Chen F., Ji Y., Deng Y., Ren F., Tan S., Wang Z. Ultrasonic-assisted fabrication of porous carbon materials derived from agricultural waste for solid-state supercapacitors. *Journal of Materials Science*. 2020 55 11512–11523. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04751-y>

6. Bin-Hai Cheng. Bio-coal: A renewable and massively producible fuel from lignocellulosic biomass/ Bin-Hai Cheng, Bao-Cheng Huang [and e.t.] // *Science Advances*, 2020.6(1).DOI:10.1126/sciadv.aay0748

7. Tomina, E.V. Creation, modification and investigation of the properties of a carbon sorbent based on pine sawdust / E.V. Tomina, N.A. Khodosova, V.E.

Manukovskaya// Development of energy-saving and environmentally friendly technologies of the timber industry. 2022. PP. 108-114. DOI: 10.58168/DESEFTTI2022_108-114

8. Sajjadi B., Chen W.Y., Egiebor N.O. A comprehensive review on physical activation of biochar for energy and environmental applications. *Reviews in Chemical Engineering*. 2019. 35. 735–776. <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0113>

9. Poluboyarinov O.I. Density of wood. L.: Chemistry, 1973, 76 p.

10. Rebko, S.V. Comparative assessment of physical and mechanical properties of wood of various climatypes of scots pine / S.V. Rebko, P.G. Melnik, A.V. Kozel, L.F. Poplavskaya, P.V. Puffin, V.V. Nosnikov// *News of universities. Forest magazine*. 2023. 4. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-26-40

11. Peter A., Chabot B., Loranger E. Enhanced activation of ultrasonic pre-treated softwood biochar for efficient heavy metal removal from water. *Journal of Environmental Management*. 2021. 290. 112569 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112569>

Попова В.Т., Попова А.А., Цепляев А.Н., Пальцева А.В.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Сравнение эффективности размножения *Cornus alba`Sibirica Variegata`*
одревесневшими и зелеными черенками в условиях Воронежской области**

Аннотация. Черенкование является эффективным способом вегетативного размножения популярных сортов и видов лиственных и хвойных интродуцентов. Данный метод позволяет полностью передать потомству ценные качества материнского растения, тиражировать редкие сорта древесных и кустарниковых пород. В данной статье приведены результаты укоренения зеленых и одревесневших черенков *Cornus alba`Sibirica Variegata`*, заготовленных и высаженных в различные сроки в питомнике Воронежской области. После статистической обработки данных были проанализированы и сопоставлены между собой результаты укоренения по двум технологиям вегетативного размножения *Cornus alba`Sibirica Variegata`*. Показано, что в условиях питомника наиболее эффективной технологией размножения данного сорта является зеленое черенкование. Процент укоренения у летних черенков на 26,5% выше, чем у зимних.

Ключевые слова: вегетативное размножение, черенкование, зеленые черенки, одревесневшие черенки, *Cornus alba`Sibirica Variegata`*.

Popova V.T., Popova A.A., Tseplyaev A.N., Paltseva A.V.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Comparison of the reproduction efficiency of *Cornus alba`Sibirica Variegata`*
with lignified and green cuttings in the Voronezh region conditions**

Abstract. Grafting is an effective way of vegetative propagation of popular varieties and species of deciduous and coniferous introducers. This method allows you to fully transmit to the offspring the valuable qualities of the mother plant, to replicate rare varieties of tree and shrub species. This article presents the results of rooting green and lignified cuttings of *Cornus alba`Sibirica Variegata`* harvested and planted at various times in the nursery of the Voronezh region. After statistical processing of the

data, the results of rooting using two technologies of vegetative reproduction of *Cornus alba`Sibirica Variegata`* were analyzed and compared with each other. Was shown that in the nursery conditions, the most effective reproduction technology of this variety is green cuttings. The percentage of rooting in summer cuttings is 26.5% higher than in winter.

Keywords: vegetative reproduction, cuttings, green cuttings, lignified cuttings, *Cornus alba`Sibirica Variegata`*.

1. Введение

В настоящее время с развитием декоративного и плодового питомниководства вегетативное размножение приобретает особую актуальность, поэтому необходимо разрабатывать агротехнические приемы по совершенствованию данной технологии.

Эффективность производства посадочного материала путем укоренения одревесневших и зеленых черенков зависит от таких факторов, как: видовая принадлежность растений, возраст растений, состояние маточников, микроклиматические условия в культивационных сооружениях, сроки заготовки черенков, применение стимуляторов корнеобразования и др [1-4]

Одним из базовых аспектов технологии черенкования, позволяющим повысить эффективность размножения является подбор оптимальных сроков взятия побегов с маточных растений [5,6]. Практика показывает, что даже при соблюдении оптимальных сроков черенкования и режимов укоренения черенки различных видов укореняются неодинаково. Поэтому изучение отдельных технологических аспектов вегетативного размножения методом черенкования (в том числе использование одревесневших или зеленых черенков) для отдельных культур с учетом климатических условий зоны возделывания имеет особую актуальность [7].

Дерен белый «Сибирика вариегата» *Cornus alba`Sibirica Variegata`* - декоративно-лиственный кустарник, широко использующийся в озеленении, он применяется для устройства живых изгородей, групповых посадок, а также в качестве солитеров, устойчив к городским условиям, является ценным сортом для размножения в питомниках.

Целью настоящего исследования является изучение влияния периода заготовки черенков и типа черенкования укоренение сорта *Cornus alba`Sibirica Variegata`*.

2. Материалы и методы

Объектом исследования является *Cornus alba`Sibirica Variegata`*. Опыты по вегетативному размножению проводились в производственном отделении ООО «Объединенные питомники» (Воронежская область, координаты: N 51° 48.368` E 38°57.037`). Укоренение проводилось в парниках сферической формы 3м x 2м x 18м, покрытых армированной полиэтиленовой пленкой толщиной 200 мкр. Полив обеспечивался при помощи автоматической туманообразующей системы. Режим работы установки искусственного тумана регулировался при

помощи электронного контроллера GA-327 с соленоидом и возможностью программирования режима полива.

Черенкование проводилось в два периода:

1. Одревесневшие черенки: заготовка – 22 Марта 2023г., посадка - 7 Апреля 2023 г.

2. Зеленые черенки: заготовка и посадка - 10 июля 2023 года.

В опыте использовали субстрат, состоящий из смеси речного, крупнозернистого песка и низинного торфа (2:1). Субстрат помещался в гряды высотой 20 см. при укоренении обоих вариантов черенков применялся стимулятор корнеобразования «Корневин» (д.в. 4-(индол-3-ил) масляной кислоты, 5 г/кг), который наносился на базальную часть черенка путем опудривания. При планировании и постановке опытов следовали общеметодологическим рекомендациям Б.А. Доспехова. [8]

Зимние черенки нарезали из однолетних прошлогодних побегов, заготавливаемых в марте 2023 года. Пучки с черенками помещали в пластиковые емкости с влажным речным песком базальной частью вверх. Емкости прикапывали в снежный бурт, выполняющий функции холодильника. Спустя 3 недели, черенки высаживались в парник по схеме посадки 5 x 5 см. Общий вид высаженных зимних черенков показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Зимние черенки в грунте

Зеленые черенки заготавливали преимущественно с молодых растений (до 5 лет), не имеющих визуальных поражений побегов и листьев болезнями и вредителями (мучнистая роса, ржавчина, тли, клещи и др.), в фазу активного линейного роста. На зеленые черенки использовали весь текущий прирост, сформировавшийся на момент заготовки, за исключением 2-4 почек, оставляемых на маточном растении и верхней травянистой части. Зеленые черенки сразу после нарезки высаживали в теплицу, опудривая базальную часть черенка Корневином, по схеме посадки 5 x 5 см, как и в предыдущем варианте. Для защиты черенков от высоких температур и снижения частоты поливов внутри теплицы, в первые две недели парники сверху укрывали притеночной сеткой (рисунок 2).



Рисунок 2 – Летние черенки

3. Результаты и обсуждение

Выкопка укорененных черенков проводилась с 26 по 29 сентября 2023 года. В таблице 1 приведены количественные показатели результатов

укоренения в зависимости от типа черенкования (одревесневшими или зелеными черенками).

Таблица 1 – Результаты укоренения черенков *Cornus alba`Sibirica Variegata`*.

Технология размножения	Количество посаженных черенков, шт	Количество укорененных черенков, шт	Укоренение, %
Зимние черенки	750	463	61,73
Летние черенки	1000	882	88,2

Исходя из данных таблицы укоренение зеленых черенков у дерена белого «Сибирика вариегата» на 26,5 % выше чем у одревесневших. Коэффициент размножения у одревесневших черенков выше 0,6, что показывает эффективность размножения данным способом в условиях производственного питомника. При зеленом черенковании коэффициент размножения превышает 0,88, что обеспечивает преимущество данного способа размножения над зимним черенкованием.

После выкопки укоренившихся черенков методом рандомизации было отобрано по 60 черенков, выращиваемых по каждой технологии, измерены основные биометрические показатели - количество и длина корней первого порядка, длина отдельных побегов и суммарная длина приростов каждого растения. Примеры отобранных черенков показаны на рисунках 3 и 4.

Биометрические данные полученные в результате замеров были статистически обработаны, результаты обработки приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Биометрические параметры укорененных черенков *Cornus alba`Sibirica Variegata`*

Средняя длина корней 1 порядка, см		Количество корней 1 порядка		Суммарная длина корней 1 порядка черенка		Средняя длина побега		Суммарный прирост побегов черенка, см	
M±m _M	C _v , %	M±m _M	C _v , %	M±m _M	C _v , %	M±m _M	C _v , %	M±m _M	C _v , %
Зимние черенки									
9,96±0,39	30,3	8,63±0,36	31,99	87,72±5,5	48,6	17,64±1,04	45,7	25,08±1,85	47,18
Летние черенки									
6,2±1,7	37,1	20,62±0,84	31,56	129,9±7,9	47,3	5,37±0,49	51,2	8,39±0,86	49,65

Примечание: M-среднее значение, m_M – ошибка, C_v- коэффициент вариации.



Рисунок 3 – Зимние укоренившиеся черенки



Рисунок 4 – Летние укоренившиеся черенки

Средняя длина корней первого порядка у одревесневших черенков, заготовленных ранней весной на 37,7 % больше чем у зеленых черенков, расчет критерия Фишера подтвердил, что различия достоверны при 5% уровне значимости ($F_{\phi}=55,3 > F_{0,05}=3,93$).

Количество корней первого порядка у зеленых черенков больше, чем у одревесневших в 2,4 раза, что положительно характеризует получаемый посадочный материал, различия установленные вычислением F-статистики также достоверны ($F_{\phi}=172,4 > F_{0,05}=3,93$). Суммарная длина корней первого порядка укорененного черенка оказалась также в 2,39 раза больше у зеленых чем у зимних черенков ($F_{\phi}=19,1 > F_{0,05}=3,93$).

Средняя длина побега у укорененных одревесневших черенков в 3,3 раза больше, чем у зеленых черенков ($F_{\phi}=113,8 > F_{0,05}=3,93$). Это связано с тем, что продолжительность периода активного роста побегов у одревесневших черенков примерно на 8 недель больше чем у зеленых.

Суммарный прирост побегов черенка у зимних черенков в 3 раза превышает данный показатель у летних, различия так же достоверны ($F_{\phi}=68,8 > F_{0,05}=3,93$) на уровне 5 % значимости.

4. Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что в условиях питомника наиболее эффективной технологией размножения данного сорта является зеленое черенкование. Процент укоренения у летних черенков на 26,5% выше, чем у зимних.

1. Исходя из того, что в технологии производства посадочного материала большое значение имеет выход готовой продукции, можно сделать вывод, что в условиях питомника наиболее эффективной технологией размножения *Cornus alba`Sibirica Variegata* является зеленое черенкование. Процент укоренения у летних черенков на 26,5% выше, чем у зимних.

2. Более раннее укоренение у одревесневших черенков дает преимущества в накоплении биомассы растения. По приросту наземной части зимние черенки превосходят показатели летних черенков в 3-3,3 раза, но длина корней первого порядка, а главное их количество у зеленых черенков выше 2,4 раза.

3. В питомниках с небольшим маточным фондом рекомендуется проведение двухэтапной заготовки черенков в ранневесенний и летний периоды, что позволит увеличить выпуск продукции и обезопасить производство от потери партии укорененных черенков в случае неудачного тура черенкования.

4. Необходимо продолжать проводить исследования по укоренению зимних и летних черенков, подбирать сроки заготовки, совершенствовать технологию выращивания, исследовать влияние различных стимуляторов, что позволит повысить процент укоренения и получить близкий по результатам выход готовой продукции.

Список литературы

1. Аладина О.Н. Оптимизация технологии зеленого черенкования садовых растений. Известия ТСХА, выпуск 4, 2013 – С. 5-22.
2. Митяков А. С., Шакина Т. Н. Опыт размножения декоративных кустарников в ботаническом саду сгу Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2016. Т. 14, вып. 2. С. 44 – 48
3. Панюшкина Н.В., Карасева М. А. Стимуляция корнеобразования перспективных интродуцентов // в сборнике «Актуальные проблемы лесного комплекса» / Под ред. Е.А. Памфилова. Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Выпуск 17. - Брянск, 2007. - 262 с.
4. Поликарпова Ф.Я. Размножение плодовых и ягодных культур зелеными черенками. М.: ВО Агропромиздат, 1993. - 91 с.
5. Тарасенко М.Т. Размножение растений зелеными черенками. М., 1967. 352 с.
6. Цепляев А.Н. Влияние стимуляторов корнеобразования на укоренение зеленых черенков декоративных пород в условиях Центрально-Черноземной полосы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 7 (33), 2007 – С.18-22.
7. Щукин Р. А., Рязанов Г.С., Раздорская И.Н. Укоренение черенков пузыреплодника калинолистного DIABLO в условиях тумана // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск. 03–04 декабря 2020 года. Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия. 2020. С. 338-342.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. М.: Колос, 1973. - 336 с.

References

1. Aladina O.N. Optimization of the technology of green cuttings of garden plants. Izvestiya TSHA, issue 4, 2013 – pp. 5-22.
2. Mityakov A. S., Shakina T. N. The experience of reproduction of ornamental shrubs in the botanical garden of SSU Byul. Bot. garden Sarat. state University. 2016. Vol. 14, issue. 2. pp. 44-48
3. Panyushkina N.V., Karaseva M. A. Stimulation of root formation of promising introducers // in the collection "Actual problems of the forest complex" / Ed. by E.A. Pamfilov. Collection of scientific papers on the results of the international scientific and technical conference. Issue 17. - Bryansk, 2007. - 262 p.
4. Polikarpova F.Ya. Reproduction of fruit and berry crops with green cuttings. M.: VO Agropromizdat, 1993. - 91 p.
5. Tarasenko M.T. Propagation of plants by green cuttings. M., 1967. 352 p.

6. Tseplyaev A.N. Influence of root formation stimulators on the rooting of green cuttings of ornamental species in the conditions of the Central Chernozem region. Bulletin of the Altai State Agrarian University No. 7 (33), 2007 – pp.18-22.
7. Shchukin R. A., Ryazanov G.S., Razdorskaya I.N. Rooting of cuttings of the viburnum DIABLO in fog conditions // Youth science - development of the agro-industrial complex: materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. Kursk. 03-04 December 2020. Kursk: Kursk State Agricultural Academy. 2020. pp. 338-342.
8. Dospekhov B.A. Methodology of field experience / B.A. Dospekhov. M.: Kolos, 1973. - 336 p

**Ржевский С.Г.¹, Кондратьева А.М.^{1,2},
Федулова Т.П.¹, Аксёненко Е.В.^{2,3}, Корнев И.И.²**

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики,
селекции и биотехнологии, г. Воронеж*

²*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

³*Воронежский государственный университет, г. Воронеж*

Разработка наборов праймеров для идентификации фитопатогенов – возбудителей пятнистого ожога хвои сосны

Аннотация. Распространение инфекционных болезней с посадочным материалом, в том числе по территории России, на сегодня является одной из главных проблем. Длительный инкубационный период при определенных погодных условиях и морфологическая схожесть признаков патогенов вызывают затруднения при их видовой идентификации. Одними из опасных болезней хвои сосны являются пятнистые ожоги – дотистромоз, неокатенулостромоз и леканостиктоз, возбудителями которых являются грибные патогены. В статье рассмотрены четыре вида грибов (*Dothistroma septosporum* (Dorog.) M. Morelet, *Dothistroma pini* Hulbary, *Lecanosticta acicula* (Thüm.) Syd., *Neocatenulostroma germanicum* (Crous & U. Braun) Quaedvl. & Crous), достоверное видовое определение которых возможно только при помощи молекулярно-генетических методов. Приведены результаты разработки видоспецифичных праймеров для диагностики четырех видов грибов-возбудителей пятнистого ожога хвои сосны на основе последовательностей, взятых из The National Center for Biotechnology Information (NCBI). Специфичность всех отобранных праймеров подтверждена *in silico*.

Ключевые слова: *Dothistroma septosporum*; *Dothistroma pini*; дотистромоз; *Lecanosticta acicula*; *Mycosphaerella dearnessii*; леканостиктоз; *Neocatenulostroma germanicum*; неокатенулостромоз

**Rzhevsky S.G.¹, Kondratyeva A.M.^{1,2},
Fedulova T.P.¹, Aksenenko E.V.^{2,3}, Kornev I.I.²**

¹*All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology,
Voronezh, Russian Federation*

²*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh*

³*Voronezh State University, Voronezh*

Development of primer sets to identify phytopathogens – pathogens of spotted burns of pine needles

Abstract. The spread of infectious diseases with planting material, including throughout Russia, is one of the main problems nowadays. The long incubation period

under certain weather conditions and the morphological similarity of the characteristics of pathogens cause difficulties in their species identification. Some of the dangerous diseases of pine needles are spotty burns – red band needle blight, needle blight and brown spot needle blight, the causative agents of which are fungal pathogens. This article contains a description of four species of fungi (*Dothistroma septosporum* (Dorog.) M. Morelet, *Dothistroma pini* Hulbary, *Lecanosticta acicula* (Thüm.) Syd., *Neocatenulostroma germanicum* (Crous & U. Braun) Quaedvl. & Crous), a reliable species identification of which is possible only using molecular genetic methods. The article presents the results of the development of species-specific primers for the diagnosis of four species of fungi that cause spotted pine needle blight based on sequences taken from The National Center for Biotechnology Information (NCBI). The specificity of all selected primers was confirmed *in silico*.

Keywords: *Dothistroma septosporum*; *Dothistroma pini*; red band needle blight; *Lecanosticta acicula*; *Mycosphaerella dearnessii*; brown spot needle blight; *Neocatenulostroma germanicum*; needle blight.

Введение

Большой ввозимый поток из других стран на территорию России декоративных саженцев древесных пород, в том числе хвойных, может быть причиной завоза некоторых инфекционных болезней и вредителей. Среди опасных болезней, поражающих хвою сосны, можно выделить несколько возбудителей пятнистого ожога хвои, которые могут существенно снизить декоративные качества посадочного материала, а также вызвать гибель молодых деревьев.

Одними из возбудителей пятнистости хвои являются *Dothistroma septosporum* (Dorog.) M. Morelet (= *Actinothyrium marginatum* Sacc., *Cytosporina septospora* Dorog., *Dothistroma pini* var. *keniense* M.H. Ivory, *Dothistroma pini* var. *lineare* Thyr & C.G. Shaw, *Dothistroma septospora* (Dorog.) M. Morelet, *Dothistroma septosporum* var. *keniense* (M.H. Ivory) B. Sutton, *Dothistroma septosporum* var. *lineare* (Thyr & D.E. Shaw) B. Sutton, *Eruptio pini* (Rostr.) M.E. Barr, *Mycosphaerella pini* (A. Funk & A.K. Parker) Arx, *Mycosphaerella pini* Rostr., *Scirrhia pini* A. Funk & A.K. Parker, *Septoria septospora* (Dorog.) Arx, *Septoriella septospora* (Dorog.) Sacc.) и *Dothistroma pini* Hulbary. Два этих трудноразличимых вида вызывают дотистромоз, или красную пятнистость хвои. Болезнь поражает хвою с образованием красных пятен и полос, в дальнейшем происходит её опадение, что приводит к сильному угнетению и гибели сосен (1, p. 551). Вид *D. pini* является узким олигофагом и паразитирует на сосне черной (*Pinus nigra* Arnold) и обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в то время как *D. septosporum* считается полифагом и способен паразитировать на 70 видах сосны и нескольких видах ели (*Picea*), лиственницы (*Larix*) и лжетсуги (*Pseudotsuga*) (2, p. 31). Инкубационный период длится до 6 месяцев в зависимости от погодных условий (3, с. 61). На территории России красная пятнистость хвои отмечена в ряде публикаций без указания вида (4, с. 110). В 2000 году дотистромоз обнаружен в Красноярском крае на сосне обыкновенной (5, с. 134), а уже в 2006 на территории Ростовской области во всех лесопитомниках были обнаружены очаги с

поражением сосны крымской (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) красной пятнистостью хвои (6, с. 44).

Побурение хвои, или неокатенулостромоз, вызвано патогенным грибом *Neocatenulostroma germanicum* (Crous & U. Braun) Quaedvl. & Crous (= *Catenulostroma germanicum* Crous & U. Braun). При развитии заболевания побуревшая часть хвоинок отмирает. На территории России вид отмечен в Краснодарском крае на сосне крымской (7, с. 78). Достоверная идентификация этого вида патогена возможна только при использовании молекулярно-генетических методов (8, с. 82).

Другое опасное заболевание хвои сосны – коричневый пятнистый ожог хвои, или леканостиктоз, вызвано инвазионным грибом *Lecanosticta acicola* (Thüm.) Syd. (= *Cryptosporium acicola* Thüm., *Dothidea acicola* (Dearn.) M. Morelet, *Eruptio acicola* (Dearn.) M.E. Barr, *Lecanosticta pini* Syd., *Mycosphaerella dearnessii* M.E. Barr, *Scirrhia acicola* (Dearn.) Sigg., *Septoria acicola* (Thüm.) Sacc., *Systemma acicola* (Dearn.) F.A. Wolf & Barbour). На инфицированных хвоинках вначале появляются желтые пятна, которые в дальнейшем приобретают коричневый цвет (рис. 1) и распространяются до конца хвоинок. Зараженные части хвоинок отпадают. На территории России вид отмечен в Краснодарском крае в 2018 году на сосне пицундской (*Pinus brutia* var. *pityusa*), горной (*Pinus mugo*) и сосне Тунберга (*Pinus thunbergii* Ogon) (9, р. 1). Нами вид обнаружен на территории одного из питомников Воронежской области на сосне скрученной (*Pinus contorta*) и крымской.



Рисунок 1 – Начальная стадия развития коричневого пятнистого ожога хвои сосны скрученной (фото авторов)

Все четыре рассмотренных вида фитопатогенов являются опасными инфекционными болезнями хвои сосны, приводящими к гибели молодых деревьев. Для контроля над их распространением по территории России необходимо проводить раннюю диагностику заболеваний хвои. Ввиду длительного инкубационного периода при определенных погодных условиях, схожести симптомов болезни и трудностей идентификации на разных стадиях развития грибов для установления видовой принадлежности патогенов необходимо применять молекулярно-генетические методы, в том числе видоспецифичные праймеры.

Материалы и методы

Систематика патогенных грибов приведена в соответствии с информацией, размещенной на сайте <https://www.mycobank.org/> (режим доступа 20.06.2023).

Для идентификации грибов разрабатываются праймеры на основе ITS1 и ITS2 (Internal transcribed spacer – внутренние транскрибируемые спейсеры областей рДНК) (10, р. 734), а также 5,8S-рРНК и 28S-рРНК большой субъединицы и 18S-рРНК малой субъединицы рибсомы. Гены 5,8S-рРНК, 28S-рРНК и 18S-рРНК более консервативны и отличаются низким уровнем изменений, что позволяет использовать их при исследовании таксонов родового уровня, в то время как ITS – на уровне вида (11, р. 146).

Для четырех видов-возбудителей пятнистого ожога хвои сосны в базе данных Национального центра биотехнологической информации NCBI (The National Center for Biotechnology Information; режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>; по состоянию на 20.06.2023) подобраны нуклеотидные последовательности. На их основе при помощи программного обеспечения Primer-Blast (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/index.cgi>; по состоянию на 20.06.2023) проведены работы по разработке праймеров для идентификации видов грибов. Специфичность разработанных последовательностей праймеров проверялась *in silico* (при помощи модуля Primer-Blast).

Результаты и их обсуждение

Нуклеотидные последовательности IT1-5.8S-IT2 областей четырех исследованных видов-возбудителей пятнистого ожога хвои сосны с указанием идентификационного номера GenBank, взятые из базы NCBI (The National Center for Biotechnology Information), представлены ниже.

Dothistroma septosporum (18S, ITS1-5.8S-ITS2, 28S; GenBank: MG720632.1)

```
1 ggaggatca ttaactgagt agggcgaaag cccgacctc aacccttgt gaaccaactc
61 tgttgcttcg gggcgaccc cgccttctc gcgacggcgc ccccgagggt catcaaacac
121 tgcactttg cgtcggagtc ttaaagtaa ttaaacaaca acttcaaca acggatctct
181 tggttctggc atcgatgaag aacgcagcga aatgcgataa gtaatgtaa tgcagaatt
241 cagtgaatca tcgaatcttt gaacgcacat tgcgccccgt ggtattccgc ggggcatgcc
301 tgttcgagcg tcattcacc actcaagcct ggcttggtat tggcgctcgc ggttccgcgc
361 gcctaaagt ctccggctga gcagttcgtc tctaagcgtt gtggcatata ttcgctgaa
```

421 gagttcggac ggcttttggc cgtaaactct ttacaaggt tgacctcgga tcagg

Dothistroma pini (18S, ITS1-5.8S-ITS2, 28S; GenBank: MW110771.1)

1 aacctgcgga gggatcatta ctgagtgagg gcgaaagccc gacctccaac cttttgtgaa
61 ccaactctgt tgcttcgggg gcgacctgc cgtttcggcg acggcgcccc cggaggtcat
121 caaactctgc atctatgcgt cggagtctta aagtaaattt aaacaaaact tcaacaacg
181 gatctcttgg ttctggcatc gatgaagaac gcagcgaat gcgataagta atgtgaattg
241 cagaattcag tgaatcatcg aatctttgaa cgcacattgc gccccgtggt attccgcggg
301 gcatgcctgt tcgagcgtca ttcaccact caagcctagc ttggtattgg gcgtcgcggt
361 tccgcgcgcc ttaaagtctc cggctgagca gttcgtctct aagcgttggt gcatatattt
421 cgctgaagag ttcggacggc ttttgccgt taaatctttt tacaaggttg acctcggatc
481 aggtagggat acccgctgaa ctttaagcata tcaata

Lecanosticta acicola (18S, ITS1-5.8S-ITS2, 28S; GenBank: JQ429786.1)

1 tgcggaggga tcattaaat actgaaagac ctcccctggc ccccgggccc ggggagtgat
61 ttcaaaccc ttgtgaacta caactctgtt gcttcggggg cgacccgcc gtctcggcgg
121 tgggtctccc ggtggccatc tatcaaac tcgattacct tgcgtcggag tcttataaag
181 aattaacaa aactttcaac aacggatctc ttggttctgg catcgatgaa gaacgcagcg
241 aatgcgata agtaatgtga attgcagaat tcagtgaatc atcgaatctt tgaacgcaca
301 ttgcgccccg tggattccg cggggcatgc ctgttcgagc gtcatttcac cactcaagcc
361 tggcttggtg ttgggcgtcg cggcctccgc gcgcctcaaa gtctccggct gagcagtcgg
421 tctccgagcg ttgtgacatt ttcgctaggg agttcgcgtc tgccgcggcc gttaaatcat
481 taacacaaa gg

Neocatenulostroma germanicum (18S, ITS1-5.8S-ITS2, 28S; GenBank: MK622897.1)

1 ttactgagtg agggcctctg gcccgacctc caaccccatg ttatctgaca ctgttgctc
61 cggggcgacc cggcctgcct tcgggcgttt cggggccccg ggtggaccat tcaactctg
121 atctttgcgt ctgagtaaat gattgaatca atcaaaactt tcaacaacgg atctcttgg
181 tctggcatcg atgaagaacg cagcgaatg cgataagtaa tgtgaattgc agaattcagt
241 gaatcatcga atctttgaac gcacattgcg ccccttggtg ttccgagggg catgcctgtt
301 cgagcgtcat tacaccactc aagcctcgtc ttggtattggg cgccgcggtc cgccgcgcgc
361 ctcaatgttt ccggctgagc tctctgtctc taagcgttgt ggttaaaact atccgcttg
421 gagatcgggg ggcgtctggc cgtaaacca ttactcaaag gttgacctcg gatcaggtag
481 ggataccgcg tgaacttaag catatcaat

На основе программного обеспечения Primer-Blast в базе NCBI для каждого вида гриба были разработаны по 10 пар праймеров, из которых в дальнейшем было отобрано по паре праймеров, удовлетворяющих определенным требованиям: нуклеотидная последовательность праймеров не должна содержать повторяющиеся элементы и палиндромы, оптимальная длина праймера выбирается в диапазоне от 16 до 25 нуклеотидов, соотношение количества АТ и GC нуклеотидов должно быть близко к 1:1; также необходимо учитывать самокомплементарность полученных праймеров, выбирая последовательности с наименьшим ее значением. (12, с. 44; 13, с. 39; 14, р. 33;

15, p. 12; 16, с. 44), из которых в дальнейшем было отобрано по паре праймеров (табл. 1).

Таблица 1 -Характеристики разработанных праймеров к грибам, вызывающим пятнистые ожоги сосны (Tm – температура плавления праймеров, °С; GC% – содержание GC-оснований, %)

	Последовательность (5'-3')	Tm	GC	Самокомплементарность	Самокомплементарность 3'-концов
<i>Dothistroma septosporum</i> (размер продукта – 252 п. н.)					
Прямой праймер	TGAAGAACGCAGCGAAATGC	60.11	50	5.00	2.00
Обратный праймер	TTTAACGGCCAAAAGCCGTC	59.69	50	5.00	3.00
<i>Dothistroma pini</i> (размер продукта – 315 п. н.)					
Прямой праймер	TGCATCTATGCGTCGGAGTC	59.97	55	6.00	3.00
Обратный праймер	AAGCCGTCCGAACTCTTCAG	60.04	55	4.00	3.00
<i>Lecanosticta acicola</i> (размер продукта – 219 п. н.)					
Прямой праймер	ATCGATGAAGAACGCAGCGA	60.18	50	6.00	3.00
Обратный праймер	AATGTCACAACGCTCGGAGA	59.68	50	5.00	3.00
<i>Neocatenulostroma germanicum</i> (размер продукта – 339 п. н.)					
Прямой праймер	ATCTGACACTGTTGCCTCCG	60.04	55	5.00	2.00
Обратный праймер	AGCTCAGCCGGAAACATTGA	59.96	50	5.00	1.00

Каждую пару отобранных праймеров проверяли *in silico* на специфичность при анализе сиквенсов из The National Center for Biotechnology Information (NCBI). Все выбранные праймеры оказались специфичны к области IT1-5.8S-IT2 видов грибов, вызывающих пятнистые ожоги хвои сосны, и могут быть использованы при идентификации патогенов. Эффективность выбранных праймеров в дальнейшем будет проверена на хвое сосен, пораженных грибными инфекциями, а также на контрольных растениях без признаков болезни.

Заключение

Для диагностики четырех видов грибов-возбудителей пятнистого ожога хвои сосны (*Dothistroma septosporum*, *Dothistroma pini*, *Lecanosticta acicola*, *Neocatenulostroma germanicum*) разработаны праймеры на основе последовательностей, взятых из The National Center for Biotechnology Information (NCBI). Специфичность всех отобранных праймеров подтверждена *in silico*. Полученные наборы праймеров будут способствовать точной видовой диагностики патогенов необходимой для контроля распространения заболеваний на территории России.

Список литературы

1. Barnes I., Crous P.W., Wingfield B.D., Wingfield M.J. Multigene phylogenies reveal that red band needle blight of *Pinus* is caused by two distinct species of *Dothistroma*, *D. septosporum* and *D. pini* // *Studies in Mycology*. – 2004. – Vol. 50. – P. 551–565.
2. Bednářová M., Palovčíková D., Jankovský L. The host spectrum of *Dothistroma* needle blight *Mycosphaerella pini* E. Rostrup – new hosts of *Dothistroma* needle blight observed in the Czech Republic // *Journal of Forest Science*. – 2006. – Vol. 52. – P. 30–36.
3. Жуков А.М., Гниненко Ю.И., Жуков П.Д. Опасные малоизученные болезни хвойных пород в лесах России. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. – 128 с.
4. Булгаков Т.С. Дотистромоз – новое опасное заболевание сосны крымской на юге России // *Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. научн. тр. междунар. науч.-техн. конф. «Лес–2007»*. – Вып. 17. – Брянск: БГИТА, 2007. – С. 109–113.
5. Жуков А.М., Гниненко Ю.И. Малоизвестные грибы – возбудители заболеваний хвойных пород в России // *Бюлл. ВПРС МОББ*. – № 37. – Пушкино, 2007. – С. 134–141.
6. Гниненко Ю.И., Жуков А.М., Сафронов А.Н. Новое заболевание сосны на юге России // *Защита и карантин растений*. – 2007. – № 11. – С. 44–45.
7. Булгаков Т.С. О малоизвестных опасных заболеваниях хвои сосен на юге России // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2022. – № 61. – С. 74–79.
8. Василевич В.В., Леонов А.Ю., Пирханов Г.Г. Разнородность и распространение микроспоровых фитопатогенов, вызывающих симптомы пятнистого ожога хвои в Витебской области // *Экологическая культура и охрана окружающей среды: III Дорофеевские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конференции, Витебск, 28–29 октября 2020 г.* – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2020. – С. 81–83.
9. Mullett M.S., Adamson K., Bragança H., Bulgakov T.S., Georgieva M., Henriques J., Jürisoo L., Laas M., Drenkhan R. New country and regional records of the pine needle blight pathogens *Lecanosticta acicola*, *Dothistroma septosporum* and *Dothistroma pini* // *Forest Pathology*. – № 48 (7). – P. 1–10. – <https://doi.org/10.1111/efp.12440>.
10. Shestibratov K.A., Baranov O.Yu., Subbotina N.M., Lebedev V.G., Panteleev S.V., Krutovsky K.V., Padutov V.E. Early detection and identification of the main fungal pathogens for resistance evaluation of new genotypes of forest trees // *Forests*. – 2018. – Vol. 9 (12). – P. 732–740.
11. Ma Z., Michailides T.J. Approaches for eliminating PCR inhibitors and designing PCR primers for the detection of phytopathogenic fungi // *Crop Protection*. – 2007. – Vol. 26 (2). – P. 145–161.
12. Баранов О.Ю., Иващенко Л.О. Разработка набора праймеров для диагностики офиостомовых грибов, ассоциированных с процессами усыхания дуба черешчатого // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и*

перераб. возобновляемых ресурсов. – 2023. – № 1 (264). – С. 41–48. – DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-05.

13. Козырева А.А., Злотина А.М., Головкин А.С., Калинина О.В., Костарева А.А. Конструирование праймеров для ПЦР в программе Primer-BLAST // Трансляционная медицина. – 2021. – № 8 (3). – С. 37–52. – DOI: 10.18705/2311-4495-2021-8-3-37-52.

14. Dieffenbach C.W., Lowe T.M., Dveksler G.S. General concepts for PCR primer design // PCR methods appl. – 1993. – Vol. 3 (3). – P. 30–37.

15. Sharma M. Basic concepts of primer designing: a minireview // International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 17. Issue 4. – P. 010–012. – DOI: <http://dx.doi.org/10.21172/1.174.03>.

16. Кондратьева А.М., Ржевский С.Г., Мелькумов Г.М., Федулова Т.П. Разработка наборов праймеров для диагностики грибов-возбудителей мучнистой росы дуба // Актуальные вопросы изучения наземных и водных экосистем среднерусской лесостепи. – Вып. 5. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2023. – С. 40–47.

References

1. Barnes I., Crous P.W., Wingfield B.D., Wingfield M.J. Multigene phylogenies reveal that red band needle blight of *Pinus* is caused by two distinct species of *Dothistroma*, *D. septosporum* and *D. pini* // Studies in Mycology. – 2004. – Vol. 50. – P. 551–565.

2. Bednářová M., Palovčíková D., Jankovský L. The host spectrum of *Dothistroma* needle blight *Mycosphaerella pini* E. Rostrup – new hosts of *Dothistroma* needle blight observed in the Czech Republic // Journal of Forest Science. – 2006. – Vol. 52. – P. 30–36.

3. Zhukov A. M., Gninenko YU. I., Zhukov P. D. Opasnye maloizuchennyye bolezni hvoynyh porod v lesah Rossii. – Pushkino: VNIILM, 2013. – 128 p. (in Russian)

4. Bulgakov T.S. Dotistromoz – novoe opasnoe zabolevanie sosny krymskoj na yuge Rossii // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. Sb. nauchn. tr. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Les–2007». – № 17. – Bryansk: BGITA, 2007. – P. 109–113. (in Russian)

5. Zhukov A.M., Gninenko Yu.I. Maloizvestnyye griby – vzbuditeli zabolevanij hvoynyh porod v Rossii // Byull. VPRS MOBB. – № 37. – Poznan'-Pushkino, 2007. – P. 134–141. (in Russian)

6. Gninenko Yu.I., Zhukov A.M., Safronov A.N. Novoe zabolevanie sosny na yuge Rossii // Zashchita i karantin rastenij. – 2007. – № 11. – P. 44–45. (in Russian)

7. Bulgakov T.S. O maloizvestnyh opasnyh zabolevaniyah hvoi sosen na yuge Rossii // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. – 2022. – № 61. – P. 74–79. (in Russian)

8. Vasilevich V.V., Leonov A.Yu., Pirhanov G.G. Raznorodnost' i rasprostranenie mikrosporovyh fitopatogenov, vyzyvayushchih simptomy pyatnistogo ozhoga hvoi v Vitebskoj oblasti // Ekologicheskaya kul'tura i ohrana okruzhayushchej sredy: III

Dorofeevskie chteniya: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konferencii, Vitebsk, 28–29 oktyabrya 2020 g. – Vitebsk : VGU imeni P.M. Masherova, 2020. – P. 81–83. (in Russian)

9. Mullett M.S., Adamson K., Bragança H., Bulgakov T.S., Georgieva M., Henriques J., Jürisoo L., Laas M., Drenkhan R. New country and regional records of the pine needle blight pathogens *Lecanosticta acicola*, *Dothistroma septosporum* and *Dothistroma pini* // Forest Pathology. – № 48 (7). – P. 1–10. – <https://doi.org/10.1111/efp.12440>

10. Shestibratov K.A., Baranov O.Yu., Subbotina N.M., Lebedev V.G., Panteleev S.V., Krutovsky K.V., Padutov V. E. Early detection and identification of the main fungal pathogens for resistance evaluation of new genotypes of forest trees // Forests. – 2018. – Vol. 9 (12). – P. 732–740.

11. Ma Z., Michailides T.J. Approaches for eliminating PCR inhibitors and designing PCR primers for the detection of phytopathogenic fungi // Crop Protection. – 2007. – Vol. 26 (2). – P. 145–161.

12. Baranov O.Yu., Ivashchenko L.O. Razrabotka nabora prajmerov dlya diagnostiki ofiostomovyh gribov, associirovannyh s processami usyhaniya duba chereschatogo // Trudy BGTU. Ser. 1, Lesnoe hoz-vo, prirodopol'zovanie i pererab. vozobnovlyaemyh resursov. – 2023. - № 1 (264). – P. 41–48. – DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-05. (in Russian)

13. Kozyreva A.A., Zlotina A.M., Golovkin A.S., Kalinina O.V., Kostareva A.A. Konstruirovaniye prajmerov dlya PCR v programme Primer-BLAST // Translyacionnaya medicina. – 2021. – № 8 (3). – P. 37–52. – DOI: 10.18705/2311-4495-2021-8-3-37-52. (in Russian)

14. Dieffenbach C.W., Lowe T.M., Dveksler G.S. General concepts for PCR primer design // PCR methods appl. – 1993. – Vol. 3 (3). – P. 30–37.

15. Sharma M. Basic concepts of primer designing: a minireview // International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 17. Issue 4. – P. 010–012. – DOI: <http://dx.doi.org/10.21172/1.174.03>.

16. Kondratyeva A.M., Rzhnevsky S.G., Mel'kumov G.M., Fedulova T.P. Development of primer sets for the diagnosis of oak powdery mildew // Aktual'nye voprosy izucheniya nazemnyh i vodnyh ekosistem srednerusskoj lesostepi. – № 5. – Voronezh, 2023. – P. 40–47. (in Russian)

**Рыжкова В.С.¹, Гродецкая Т.А.¹, Попова А.А.¹,
Евлаков П.М.¹, Шестибратов К.А.², Лебедев В.Г.²**

¹*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

²*Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и
Ю.А. Овчинникова Российской академии наук (ИБХ РАН, г Москва)*

Утечка электролитов из образцов листьев у F2 потомства плюсовых деревьев дуба черешчатого

Аннотация. В исследовании F2 потомства плюсовых деревьев дуба черешчатого был определен параметр утечки электролитов из листьев с помощью кондуктометрии. Результаты анализа показали, что показатель «утечка электролитов» (EL) вариабелен в F 2 потомстве и обладает разной степенью изменчивости. Величина EL и степень изменчивости зависит от семьи. Можно выделить семьи с высокой и низкой степенью изменчивости. Высокой изменчивостью обладают семьи с большими значениями утечки электролитов. Наибольшим диапазоном значений отмечается для семьи 209/1. Наиболее устойчивыми к утечке электролитов являются семьи 139/1 и 475/61a. Установленная величина асимметрии указывает на необходимость проверки результатов на соответствие нормальному распределению Гаусса и выбору методов статистического анализа данных. Полученные диапазоны данных могут быть использованы для экспериментов по оценке воздействия засухи.

Ключевые слова: утечка электролитов, листья, F2 потомство, дуб черешчатый

**Ryzhkova V.S.¹, Grodetzkaya T.A.¹, Popova A.A.¹,
Evlakov P.M.¹, Shestibratov K.A.², Lebdev V.G.²**

¹*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh*

²*Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry
of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

Leakage of electrolytes from leaf samples in F2 progeny of plus-sized oak trees

Abstract. The parameter of electrolyte leakage from the leaves was determined in the study of F2 plus-sized oak trees offspring. Was used conductometry. The results showed that the indicator "electrolyte leakage" (EL) is variable in F 2 offspring and has

different degrees of variability. The magnitude of EL and the degree of variability depends on the family. It was possible to distinguish families with a high and low degree of variability. Families with high values of electrolyte leakage had high variability. The largest range of values marked for the family 209/1. The 139/1 and 475/61a families were the most resistant to electrolyte leakage. The obtained data ranges can be used for experiments to assess the impact of drought.

Key words: electrolyte leakage, leaves, F2 progeny, *Quercus robur*.

1. Введение

Утечка (отток) электролитов – это потеря растительными клетками ионов во время действия различных стрессовых факторов или в ходе некоторых физиологических процессов (рост, развитие и т. д.). На протяжении долгого времени утечка электролитов является маркером жизнеспособности клеток и стрессоустойчивости растений в целом. Возникая в ответ на воздействие стрессора, данная реакция развивается мгновенно и протекает от нескольких минут до нескольких часов или дней [1]. Большая потеря ионов может стать причиной нарушения ионного баланса, индуцирующего запуск автофагии и запрограммированной клеточной гибели [2].

Впервые утечка электролитов была зарегистрирована в конце XIX в., однако существуют работы 1920-х гг., в которых описан значительный выход ионов из клеток растений, подвергнутых воздействию низких температур и раневому стрессу. Тогда же было высказано предположение, что утечка электролитов вызвана разрушением цитоплазматической мембраны и клеточной гибелью. В течение последующих 30 – 40 лет стало известно, что под влиянием некоторых стрессовых факторов (гипотермия, гипертермия, засуха) отток электролитов, может происходить и без снижения жизнеспособности клеток и нарушения проницаемости ПМ [2].

Утечка электролитов из корней и других вегетативных тканей высших растений, возникающая при осмотическом стрессе, впервые была описана в 1970-х гг. Предполагалось, что устойчивость растений к засухе можно оценить по скорости повреждения пластической мембраны при водном стрессе и росту утечки электролитов. В дальнейшем анализ оттока электролитов стал часто используемым маркером негативного воздействия водного стресса [3].

Целью настоящего исследования является установление пределов варьирования параметра утечки электролитов из листьев F2 потомства плюсовых деревьев дуба черешчатого.

2. Материалы и методы

Объектом изучения являются сеянцы F2 потомства плюсовых деревьев дуба черешчатого, выращенные в условиях теплицы.

Анализ утечки электролитов проводили на свежесобранных листьях по общепринятой методике [4] с помощью кондуктометра МАРК-603, датчик ДП-015:

1. 100 мг свежих листьев нарезали на кусочки 5 мм и поместили в пробирку с 10 мл дистиллированной деионизированной воды, провели нагревание на

водяной бане при 32°C. Через 2 ч измерили начальную электропроводность среды (EC1) с помощью кондуктометра.

2. Затем образцы автоклавировали в течение 20 мин при 121°C для полной гибели ткани и выделения всех электролитов. Образцы охладили до 25°C и измерили конечную электропроводность (EC2).

Утечку электролитов рассчитывали по формуле: $(EL) = EC1/EC2 \times 100$.

Расчётные данные были статистически обработаны в программе Excel.

3. Результаты и их обсуждение

Полученные в результате анализа данные электропроводности и статистические критерии описательной статистики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значение расчетного показателя утечки электролитов среди F2 потомства плюсовых деревьев дуба черешчатого						
№ семьи	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	min	max	σ	Cv, %
209/1	49.1	9.3	13.1	91.5	29.4	59.7
139/1	22.8	0.95	18.9	25.5	2.7	11.9
151/1	25.1	1.65	20.8	31.0	4.0	16.1
11	35.3	10.9	15.23	273.4	52.1	147.4
233/57	25.3	1.4	18.8	31.2	3.9	15.7
475/61a	24.4	1.5	19.2	27.8	3.7	15.3
Среднее	34.8	5.7	13.1	273	39.4	113.1

Среднее значение расчетного параметра EL составляет 34.8 ± 5.7 мкМсм/см для листьев сеянцев дуба черешчатого. Рассчитанный коэффициент изменчивости показывает ее высокую степень среди потомства (113.1 %). Сравнение расчетного показателя по семьям представлены на рисунке 1.

Как видно из диаграммы наибольшим диапазоном значений отмечается для семьи 209/1. Наиболее устойчивыми к утечке электролитов являются семьи 139/1 и 475/61a.

Анализ расчётного параметра и коэффициента изменчивости с учетом семейственной принадлежности показывает наличие семей с низким и высоким уровнем изменчивости. Высокий уровень изменчивости характерен для семей с высоким значением утечки электролитов (семьи 209/1, 11). Для семей с низкими значениями EL коэффициент изменчивости не превышает 15.5%.

Гистограмма распределения значения EL в общей выборке показывает отличие от нормального распределения Гаусса (рис. 2), что отражает наличие особей с резко отличающимися значениями от средней по выборке. Асимметрия = 5.02.

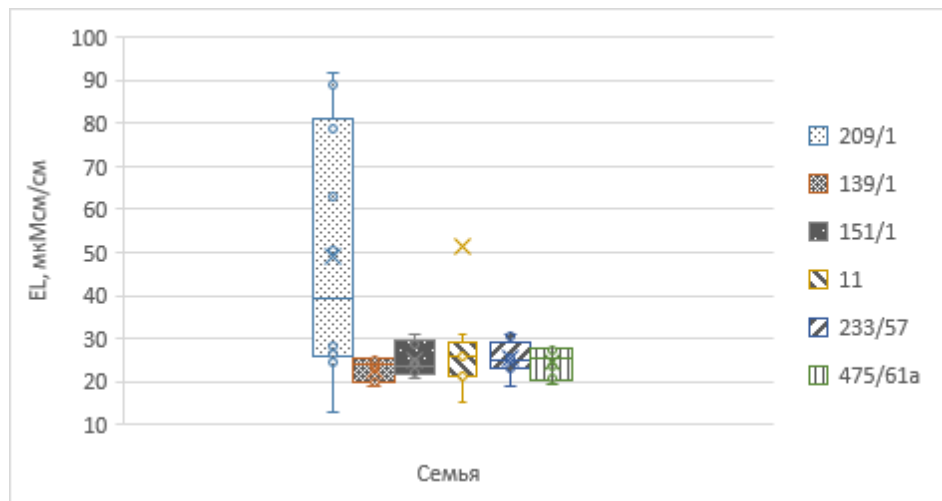


Рис.1. Бокс-плот диаграмма для показателя «утечка электролитов» среди потомства F2 изучаемых семей.

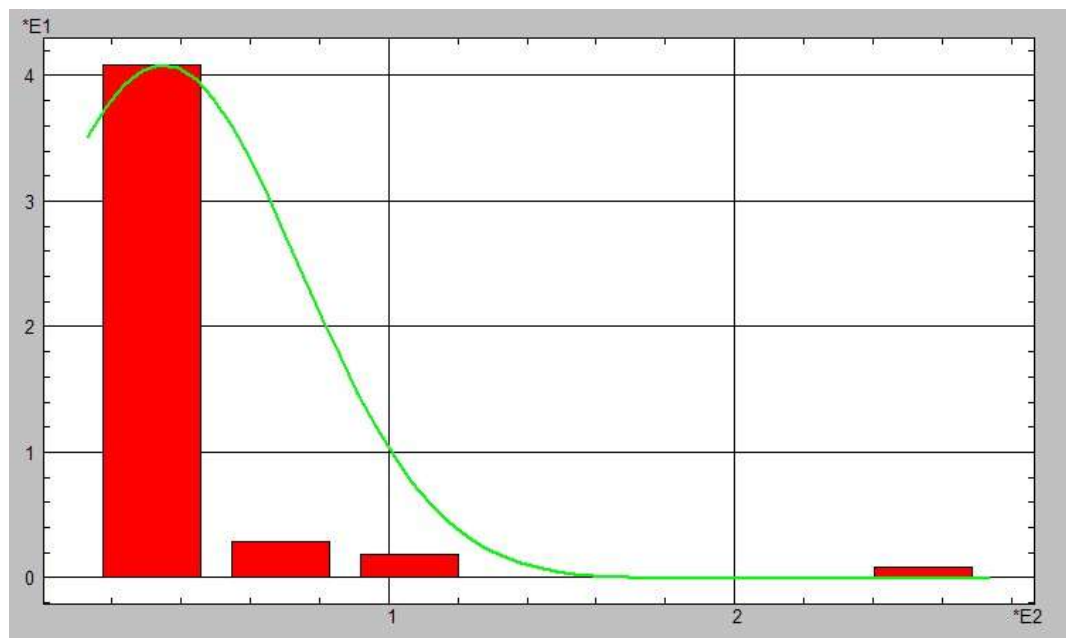


Рис. 2. Гистограмма распределения EL в выборке.

Величина Асимметрии для семей неоднородна (209/1 - 0,397676923; 139/1 - -0,457407484; 151/1 - 0,714425922; 11 - 4,749725135; 233/57 - 0,082377958; 475/61a - -0,490825003). Наибольшей величиной асимметрии характеризуются семьи с высокой изменчивостью.

Параметр «утечка электролитов» является чувствительным маркером клеточного стресса. Предполагается, что устойчивость растений к засухе можно оценить по скорости повреждения пластической мембраны под воздействием водного стресса и росту утечки электролитов, что в дальнейшем анализ стал часто используемым маркером негативного воздействия водного стресса [3].

С другой стороны исследования показывают, что существуют механизмы поддержания целостности мембраны. Так, увеличение содержания

антиоксидантов в клетках растений способствует снижению утечки электролитов и увеличению их устойчивости к засухе. Например, повышение экспрессии Mn-супероксиддисмутазы в листьях *P. sativum* L. [5] и Cu/Zn-супероксиддисмутазы и аскорбатпероксидазы в листьях *N. tabacum* L. [6] значительно снижает отток электролитов.

Таким образом, результаты, полученные при анализе листьев дуба черешчатого, показывают высокую степень изменчивости в выборке и между отдельными семьями, чем выше показатель утечки электролитов, тем выше степень ее изменчивости. Установленная величина асимметрии указывает на необходимость проверки результатов на соответствие нормальному распределению Гаусса и выбору методов статистического анализа данных. Полученные диапазоны данных могут быть использованы для экспериментов по оценке воздействия засухи.

4. Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Расчетный показатель «утечка электролитов» вариабелен в F₂ потомстве и обладает разной степенью изменчивости.
2. Величина EL и степень изменчивости зависит от семьи. Можно выделить семьи с высокой и низкой степенью изменчивости. Высокой изменчивостью обладают семьи с большими значениями утечки электролитов.
3. Наибольшим диапазоном значений отмечается для семьи 209/1. Наиболее устойчивыми к утечке электролитов являются семьи 139/1 и 475/61a.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-64-00036, <http://rscf.ru/project/22-64-00036/>

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation

Список литературы

1. Demidchik V et al. 2014 Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment *Journal of experimental botany* **65** (5). pp. 1259-1270.
2. Demidchik V, Tyutereva E V, Voitsekhovskaja O V 2017 The role of ion disequilibrium in induction of root cell death and autophagy by environmental stresses *Functional Plant Biology* **45** (2) pp. 28-46.
3. Blum A, Ebercon A 1981 Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat 1 *Crop Science* **21** (1) pp. 43-47.
4. Dionisio-Sese M L and S Tobita 1998 Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress *Plant Science* **135** pp 1-9
5. Wang F Z et al. 2005 Enhanced drought tolerance of transgenic rice plants expressing a pea manganese superoxide dismutase *Journal of plant physiology* **162** (4) pp. 465-472.

6. Faize M et al. 2011 Involvement of cytosolic ascorbate peroxidase and Cu/Zn-superoxide dismutase for improved tolerance against drought stress *Journal of experimental botany* **62** (8) pp. 2599-2613.

References

1. Demidchik V et al. 2014 Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment *Journal of experimental botany* **65** (5). pp. 1259-1270.
2. Demidchik V, Tyutereva E V, Voitsekhovskaja O V 2017 The role of ion disequilibrium in induction of root cell death and autophagy by environmental stresses *Functional Plant Biology* **45** (2) pp. 28-46.
3. Blum A, Ebercon A 1981 Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat 1 *Crop Science* **21** (1) pp. 43-47.
4. Dionisio-Sese M L and S Tobita 1998 Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress *Plant Science* **135** pp 1-9
5. Wang F Z et al. 2005 Enhanced drought tolerance of transgenic rice plants expressing a pea manganese superoxide dismutase *Journal of plant physiology* **162** (4) pp. 465-472.
6. Faize M et al. 2011 Involvement of cytosolic ascorbate peroxidase and Cu/Zn-superoxide dismutase for improved tolerance against drought stress *Journal of experimental botany* **62** (8) pp. 2599-2613.

**Федорова О.А., Евлаков П.М.,
Гродецкая Т.А., Евтушенко Н.А.**
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Создание *in vitro* коллекции гибридов тополя, перспективных
для выращивания в лесорастительных условиях Воронежской области**

Аннотация. Приведены данные по введению в культуру *in vitro* 5 перспективных генотипов тополя ‘ЭС-38’, ‘Регенерата’, ‘Ведуга’, ‘Осокорь’, ‘Сакрау’. Установлено, что использование двухстадийного способа стерилизации с использованием коммерческого препарата “Domestos” и мертиолята позволяет получать 66,7 – 100% стерильных эксплантов тополей. Наиболее полно морфогенные свойства растений проявляются на средах WPM и MS, дополненных гормонами 6-БАП 0,3 мг/л, ГК 0,2 мг/л.

Ключевые слова: тополь, *in vitro* коллекция, экспланты, питательная среда

**Fedorova O.A., Grodetzkaya T.A.,
Evlakov P.M., Evtushenko N.A.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Creation *in vitro* collection of poplar hybrids, promising for growing in forest
conditions of the Voronezh region**

Abstract. Data on the introduction into *in vitro* culture of 5 promising poplar genotypes ‘ES-38’, ‘Regenerata’, ‘Veduga’, ‘Osokor’, and ‘Sakrau’ are presented. It has been established that the use of a two-stage sterilization method using the commercial preparation “Domestos” and merthiolate makes it possible to obtain 66.7 – 100% sterile poplar explants. The most complete morphogenic properties of plants are manifested in WPM and MS media supplemented with hormones 6-BAP 0.3 mg/l, GA 0,2 mg/l

Key words: poplar, *in vitro* collection, explants, nutrient medium

1. Введение

В связи с все более нарастающей проблемой усыхания древесных видов растений и потерей их продуктивности, остро встает вопрос восстановления лесов. Наиболее перспективным для плантационного выращивания является тополь (*Populus sp.*), который за быстроту роста и скороспелость называют «эвкалиптом Севера» [1]. Тополь играет важную роль в процессе лесовосстановления, особенно на начальных стадиях. Древесину тополя используют в строительстве и производстве мебели, а также для целлюлознобумажного производства, вискозной промышленности, спичечного и фанерного производства. Кроме того, растения тополя используются для укрепления оврагов, лесомелиорации пойм, полевзащитного лесоразведения, озеленения городов (мужские экземпляры) и т.д.

На экспериментальной базе ВГЛТУ создан значительный генетический фонд отечественных и интродуцированных видов, форм, селекционных сортов и гибридов тополя для массивных, защитных и озеленительных насаждений ЦЧР. Для своевременного и полноценного восполнения утраченных ресурсов необходимо введение в культуру *in vitro* перспективных генотипов с целью их дальнейшего тиражирования. Современные биотехнологические подходы позволяют эффективно использовать селекционные достижения и размножить качественный посадочный материал ценных древесных растений, трудно размножаемых в естественных условиях, методами клонального размножения (культура *in vitro*)[2]. Этот материал используется для плантационного лесовыращивания, что позволяет получать высокие урожаи древесины.

Одной из основных проблем при введении растений в культуру *in vitro* является высокая вероятность заражения бактериями и грибами [3]. Чтобы снизить эту вероятность, необходимо использовать стерильные инструменты и материалы, а также проводить стерилизацию исходного материала. Кроме того, необходимо учитывать возраст растений и время года для заготовки побегов. Не менее важное значение на этапе введения в культуру тканей имеет состав питательной среды, в которую попадают экспланты, поскольку помимо получения стерильной культуры, необходимо активировать рост пазушных почек (меристем). По данному вопросу получены достаточно противоречивые данные. Так, сотрудники ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН при введении в культуру тканей тополя корейского *Populus koreana* gender в качестве питательной среды для активации побегообразования используют питательную среду $\frac{1}{2}$ MS, в которую дополнительно вводят антибиотик цефотаксим 800 мг/л и следующие гормоны: тидиазурон 0,05-0,1 мг/л (TDZ), N⁶-бензиламинопурин 0,2 мг/л (BA) и нафтолаленацетиновая кислота 0,01 мг /л [4]. Для инициации развития основного побега сотрудниками ВНИЛГИС были также испытаны среды с уменьшенным содержанием макросолей – $\frac{1}{2}$ MS и $\frac{1}{2}$ WPM, как без гормонов, так и дополненные регуляторами роста: 6- БАП (0,2–1 мг/л), ГК (0,2 мг/л). Результаты исследований показали, что при культивировании на питательной среде $\frac{1}{2}$ WPM получена более высокая доля морфогенных культур тополя (до 50 % у тополя № 143) по сравнению с культивированием на среде $\frac{1}{2}$ MS (до 26,7 % морфогенных культур у тополя Э.с.-38). Получены

положительные результаты при использовании в качестве индуктора побегообразования БАП в концентрациях 0,2 и 0,5 мг/л. На среде 1/2 WPM без гормонов отдельные побеги удалось получить только для тополей № 143 и Э.с.-38, при этом наблюдалось спонтанное укоренение экспланта. Использование БАП в концентрации 1 мг/л, ГК – 0,2 мг/л отдельно и в сочетании с БАП 0,2 мг/л на этапе выгонки первичного побега приводило к гибели сформировавшихся небольших побегов (0,5–1,0 см) уже на 2-й неделе культивирования. Полученные результаты согласуются с литературными данными, согласно которым для стимуляции развития пазушных побегов представителей рода *Populus* используется низкая концентрация цитокининов. Так, например, наибольшую жизнеспособность верхушечные фрагменты стебля клона *P. trichocarpa* 'Nisqually-1' [5] проявляли при инициации на среде без добавления регуляторов роста.

В ходе исследований по введению в культуру двух гибридов тополя *P. tremula x balsamifera* и *P. trichocarpa* 'Lettland' Л.А. Богинской, Д.В. Кулагиным [6] было показано, что при использовании в качестве источника эксплантов побегов, полученных выгонкой из спящих почек, наиболее интенсивное развитие первичных пазушных побегов происходит в условиях безгормональной среды состава 1/2 MS.

Установлено, что эффективность побегообразования зависела от генотипа исходного дерева и гормонального состава среды.

Цель настоящего исследования – отработка условий введения в культуру *in vitro* и создание коллекции наиболее перспективных хозяйственно-ценных генотипов тополя.

2. Материалы и методы

Объектами исследований были 5 генотипов тополя, отличающихся быстрыми темпами роста, секвестрации углекислого газа, зимостойкостью и засухоустойчивостью:

1. Тополь 'ЭС-38' ('Воронежский гигант'). Получен М. М. Вересиним от скрещивания тополя дельтовидного с тополем бальзамическим [7].

2. Тополь 'Регенерата'. Евроамериканский гибрид черных тополей, отобран А. П. Царевым [8].

3. Тополь 'Ведуга'. Гибрид *Populus alba* L. × *Populus alba* L. var. *bolleana* Lauche., получен в 1976 г. А. П. Царевым [8].

4. Тополь черный 'Осокорь'. *Populus nigra*

5. Тополь 'Сакрау' (*Populus* × *euram ericana* (Dode) Guinier cv. 'sacrau-59').

Источником материала для эксплантов являются однолетние неодревесневшие побеги тополя, собранные с середины июня до середины августа. Процесс стерилизации побегов проводится согласно предложенной методики [9]. Подготовка побегов включает в себя предварительную стерилизацию с использованием коммерческого препарата "Domestos" и основного стерилизующего агента - раствора мертиолята. Побеги по 10 см тщательно промывают теплой водой с хозяйственным мылом, а затем подвергают поэтапной стерилизации: поверхностная стерилизация

коммерческим 2% препаратом “Domestos” в течение 15 минут с последующей промывкой в проточной водопроводной воде (не менее 20 минут). Основная стерилизация побегов в асептических условиях ламинар-бокса 0.025% раствором мертиолята в сочетании с жидким дезинфицирующим р-ром “Белизна” (7% раствор) в течение 15 мин, с последующей 5-кратной промывкой стерильной дистиллированной водой. Простерилизованные побеги разрезают в асептических условиях на сегменты величиной 1,5-2 см с одной пазушной почкой (культуральные экспланты). Экспланты в асептических условиях помещают в вертикальном или слегка наклонном положении по одному в культуральные сосуды с питательной средой. Были опробированы 6 вариантов сред: WPM (Woody Plant Medium), 1/2 WPM, WPM с добавлением 6-БАП (6-бензиламинопурина) 0,3 мг/л, ГК (гибберелловой кислоты) 0,2 мг/л, MS (Murashige and Skoog Medium), 1/2MS, MS с добавлением 6-БАП (6-бензиламинопурина) 0,3 мг/л, ГК (гибберелловой кислоты) 0,2 мг/л. Сосуды с растениями выставляли на стеллажи, на которых поддерживались следующие условия климатического режима: 16-ти часовой фотопериод при освещенности 2-3 клк, температура 24-26°C. Наблюдения ведем в течение 4 недель, по прошествии которых из пазушной почки формируется основной побег. Оцениваем число стерильных эксплантов, а также эксплантов, сформировавших основной побег из почки.

3. Результаты и их обсуждение

Введение в культуру *in vitro* взрослых древесных растений - это сложный и непредсказуемый процесс. Исходный материал часто заражен микроорганизмами, которые в основном ограничиваются внешними поверхностями растения, хотя некоторые бактерии могут находиться и в тканях (эндофитная микрофлора). Поскольку питательные среды, на которых культивируют растения *in vitro*, также идеальны для роста микроорганизмов, культуры растительных тканей должны создаваться и поддерживаться в асептических условиях. Кроме того, с возрастом ткани растений теряют способность к регенерации. Современные биотехнологические подходы позволяют успешно решать эти проблемы и получать высококачественный посадочный материал для плантационного лесовыращивания.

Заготовка побегов тополя для культивирования *in vitro* осуществляется в июне-августе. В это время побеги имеют оптимальную обсемененность микроорганизмами, а также структуру, что повышает эффективность стерилизации и вероятность получения асептических жизнеспособных культур. Использование зимних одревесневших побегов менее эффективно, поскольку наличие большого количества эпифитной микрофлоры, а также низкой регенерационной способности эксплантов снижают способность получения *in vitro* растений [10].

Результаты исследований показали, что использование двухступенчатой стерилизации с применением раствора мертиолята [11] позволяет получить от 66,7% до 100% стерильных эксплантов у пяти исследуемых генотипов тополя. Отмечено, что эффективность стерилизации зависит от генотипа растений. Так,

более низкие показатели по числу стерильных эксплантов у ‘Ведуги’ связаны с особенностями анатомической структуры растений – более опущенные побеги затрудняют процесс стерилизации.

Одной из специфических проблем при введении древесных растений в культуру является побурение эксплантов, вызванное выделением фенольных веществ. Экспланты тополей склонны выделять нежелательные фенольные вещества при первом размещении на питательной среде. Данные вещества могут быть фитотоксичными, что ведет к некрозу и в конечном итоге, гибели. Простым методом предотвращения побурения эксплантов является их частая пересадка (каждые 2–3 дня) на новое место в том же культуральном сосуде или в новый сосуд. Мы при введении в культуру *in vitro* тополей рекомендуем добавлять в состав питательной среды антиоксиданта - аскорбиновую кислоту в концентрации 5 -15 мг/л.

В процессе введения в культуру *in vitro* древесных растений помимо получения стерильной культуры необходимо активировать рост верхушечной или пазушной почек (меристем). Поскольку степень загрязненности исходных растений неизвестна, то концентрация стерилизующего агента и длительность обработки подбираются эмпирически. Более жесткие условия стерилизации приводят к потере жизнеспособности экспланта. В этой связи необходимо учитывать число асептически жизнеспособных эксплантов, формирующих хорошо развитый основной побег. При введении в культуру тканей 5 генотипов тополя установлено, что наибольшее количество асептически жизнеспособных эксплантов получено на средах WPM и MS, дополненных гормонами БАП и ГК (Таблица 1). При этом их число колеблется от 57,1 до 95,2 на среде WPM и от 47,6 до 95,2 на среде MS. Отмечено, что наибольшей регенерационной способностью обладают генотипы тополя ‘Сакрау’ и ‘ЭС-38’ – до 95,5% жизнеспособных эксплантов.

Таблица 1. - Подбор оптимальных стерилизующих агентов и условий стерилизации эксплантов древесных пород при введении в культуру *in vitro* с целью получения культуры с высокой регенерационной способностью

Генотип	Питательная среда			
	WPM (БАП0,3 ГК 0.2)		MS (БАП0,3 ГК 0.2)	
	Число стерильных эксплантов,%	Число асептически жизнеспособных эксплантов,%	Число стерильных эксплантов,%	Число асептически жизнеспособных эксплантов,%
‘Сакрау’	95.2	95.2	90.5	90.5
‘ЭС-38’	80.9	71.4	95.2	95.2
‘Регенерата’	100	71.4	95.2	66.6
‘Ведуга’	71.4	57.1	66.7	47.6
‘Осокорь’	100	66.7	90.5	66.7

Установлено, что добавление ГК способствует также элонгации индуцированных побегов, что приводит к формированию побегов с хорошим ростом и развитию листовых пластинок (Рисунок 1).

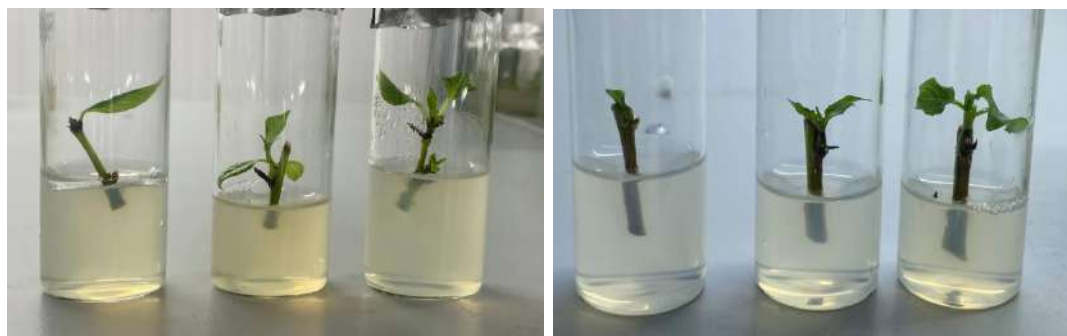


Рисунок 1. Развитие основного пазушного побега на первичных эксплантах тополя ‘Сакрау’ и ‘Осокорь’ на 21-й день от начала культивирования в зависимости от состава питательной среды. Слева направо – ½ MS, MS, MS (БАП 0.3 мг/л, ГК 0,2 мг/л).

4. Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Двухстадийная система стерилизации позволяет получать 66,7 – 100% стерильных эксплантов тополей. В ходе исследований по введению в культуру пяти генотипов тополя было показано, что наиболее интенсивное развитие первичных пазушных побегов происходит в условиях сред WPM и MS, дополненных гормонами БАП 0,3 мг/л, ГК 0,2 мг/л. Полученные в *in vitro* культуре микропобеги растений тополя ‘ЭС-38’, ‘Регенерата’, ‘Ведуга’, ‘Осокорь’, ‘Сакрау’ пригодны для ведения дальнейших стадий мультипликации (собственно размножения) и укоренения с целью дальнейшего массового тиражирования и получения посадочного материала.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000020-6-4.1.2 «Отбор хозяйственно ценных и устойчивых к изменению климата древесных культур, отличающихся высокой биологической продуктивностью и потенциалом секвестрации углерода с учетом региональных почвенно-климатическим особенностей для реализации лесоклиматических проектов (FZUR-2023-0002)».

The study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000020-6-4.1.2) «Selection of commercially valuable and climate-resilient forest cultures with high biological productivity and carbon sequestration potential, considering regional soil and climate characteristics, for the implementation of forest climate projects (FZUR-2023-0002)».

Список литературы

1. Царев, А. П., Царева, Р. П., Царев, В. А., Ленченкова, О. Ю., Милигула, Е. Н. Сортоиспытание и отбор гибридов тополя для полезащитных насаждений // Лесотехнический журнал - 2019. - №1 (33).
2. Confalonieri, M, Ballestrazzi, A, Bisoffi, S, Carbonera, D *In vitro* culture and genetic engineering of *Populus* spp.: synergy for forest tree improvement // Plant Cell Tiss. Organ Cult. – 2003. – V. 72. – P. 109–138 https://www.researchgate.net/publication/226002271_In_vitro_culture_and_genetic_engineering_of_Populus_spp_Synergy_for_forest_tree_improvement
3. Fedorova, O. Grodetskaya, T., Evtushenko, N., Evlakov. P., Gusev. A., Zakharova O. The impact of copper oxide and silver nanoparticles on woody plants obtained by *in vitro* method // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – V. 875. – №. 1. – P. 012048
4. Патент РФ № 2704839, МПК А01Н 4/00, опубл. 31.10.2019 <https://findpatent.ru/patent/270/2704839.html>
5. Kang B. et al. Micropropagation of *Populus trichocarpa* ‘Nisqually-1’: the genotype deriving the *Populus* reference genome / B. Kang, L. Osburn, D. Kopsell, G. A. Tuskan, Z.- M. Cheng // Plant Cell Tiss Organ Cult – 2009. – Vol. 99. – P. 251–257.
6. Богинская, Л. А. Особенности инициации *in vitro* гибридов тополя, перспективных для выращивания в лесорастительных условиях Беларуси / Л.А. Богинская, Д.В. Кулагин // Биотехнологические приемы в сохранении биоразнообразия и селекции растений Сборник статей Международной научной конференции Минск, 18–20 августа 2014 г. – с. 59-64.
7. Царев А. П. Сортоведение тополя. — Воронеж; Изд-во ВГУ, '1986. — 152 с.
8. Царев, А. П. Гибридизация тополей: монография /А. П. Царев, Р. П. Царева, В. А. Царев, П. М. Евлаков. – Воронеж, 2021. – 289 с.
9. Машкина, О. С. Рекомендации по сохранению и воспроизводству методами биотехнологии ценных генотипов карельской березы, осины, тополя белого и сереющего / О. С. Машкина, Т. М. Табацкая. – Воронеж: НИИЛГиС, 2005. – 29 с.
10. Панкова, С. М., Федорова, О. А., Гродецкая, Т. А., Евлаков, П. М., Холявка, М. Г., Наквасина, М. А., Путинцева, О. В., Артюхов, В. Г. Изучение сочетанного действия УФ-излучения и папаина на экспланты березы *Betula pubescens* Ehrh. на стадии введения в культуру *in vitro* // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация- 2023 - № 2. –С. 63-67.
11. Шабанова, Е.А., Машкина, О.С. Клональное микроразмножение хозяйственно-ценных форм тополя // Лесохозяйственная информация - 2015 - №4. <https://cyberleninka.ru/article/n/klonalnoe-mikrorazmnozhenie-hozyaystvenno-tsennyh-form-topolya> (дата обращения: 29.09.2023).

References

1. Tsarev, A. P., Tsareva, R. P., Tsarev, V. A., Lenchenkova, O. Yu., Miligula, E. N. Variety testing and selection of poplar hybrids for protective plantings // Forestry Journal - 2019. - №1 (33).
2. Confalonieri, M, Ballestrazzi, A, Bisoffi, S, Carbonera, D In vitro culture and genetic engineering of Populus spp.: synergy for forest tree improvement // Plant Cell Tiss. Organ Cult. – 2003. – V. 72. – P. 109–138 https://www.researchgate.net/publication/226002271_In_vitro_culture_and_genetic_engineering_of_Populus_spp_Synergy_for_forest_tree_improvement
3. Fedorova, O. Grodetskaya, T., Evtushenko, N., Evlakov. P., Gusev. A., Zakharova O. The impact of copper oxide and silver nanoparticles on woody plants obtained by in vitro method // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – V. 875. – №. 1. – P. 012048
4. RF Patent No. 2704839,IPC A01H4/00, publ. 31.10.2019<https://findpatent.ru/patent/270/2704839.html>
5. Kang B. et al. Micropropagation of Populus trichocarpa ‘Nisqually-1’: the genotype deriving the Populus reference genome / B. Kang, L. Osburn, D. Kopsell, G. A. Tuskan, Z.- M. Cheng // Plant Cell Tiss Organ Cult – 2009. – Vol. 99. – P. 251–257.
6. Boginskaya, L. A. Features of in vitro initiation of poplar hybrids promising for cultivation in forest-growing conditions of Belarus / L.A. Boginskaya, D.V. Kulagin // Biotechnological techniques in biodiversity conservation and plant breeding Collection of articles of the International Scientific Conference Minsk, August 18-20, 2014 – pp. 59-64
7. Tsarev A. P. Poplar variety studies. — Voronezh; VSU Publishing House, '1986. — 152 p.
8. Tsarev, A. P. Hybridization of poplars: monograph / A. P. Tsarev, R. P. Tsareva, V. A. Tsarev, P. M. Evlakov. – Voronezh, 2021. – 289 p.
9. Mashkina, O. S. Recommendations on conservation and reproduction by biotechnology methods of valuable genotypes of Karelian birch, aspen, white and gray poplar / O. S. Mashkina, T. M. Tabatskaya. – Voronezh: NIILGiS, 2005. – 29 p.
10. Pankova, S. M., Fedorova, O. A., Grodetskaya, T. A., Yevlakov, P. M., Kholyavka, M. G., Nakvasina, M. A., Putintseva, O. V., Artyukhov, V. G. Study of the combined effect of UV radiation and papain on birch explants *Betula pubescens* Ehrh. at the stage of introduction into culture in vitro // Vestnik VSU, Series: Chemistry. Biology. Pharmacy- 2023 - No. 2. –pp. 63-67.
11. Shabanova, E.A., Mashkina, O.S. Clonal micropropagation of economically valuable poplar forms // Forestry Information - 2015 - No. 4. <https://cyberleninka.ru/article/n/klonalnoe-mikrorazmnozhenie-hozyaystvenno-tsennyh-form-topolya> (accessed: 09/29/2023).

СЕКЦИЯ 5. ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ: НОВЫЕ КОНЦЕПЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.58168/Forestry2023_463-467

УДК 631.332

Болгов А.В.¹, Малюков С.В.¹,

Петков А.Ф.¹, Шавков М.В.²

¹*Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

²*ООО «Русгидроком», г. Воронеж*

Условия эксплуатации лесопосадочных агрегатов

Аннотация. Изучение условий эксплуатации имеет решающее значение при проектировании и определении необходимого количества лесопосадочных машин, удовлетворяющих агролесотехническим требованиям для данной лесорастительной зоны. В зависимости от группы типов условий произрастания и категории лесокультурной площади, в каждой лесорастительной зоне применяют различные способы подготовки площадей, обработки почвы и создания лесных культур. В работе представлен краткий анализ условий эксплуатации лесопосадочных машин. Определены основные показатели, влияющие на технологию лесовосстановления. Приведены основные эксплуатационные показатели лесохозяйственного агрегата.

Ключевые слова: лесопосадочная машина, качество посадки леса, лесокультурная площадь, вырубки, плавность хода агрегата.

Bolgov A.V.¹, Malyukov S.V.¹,

Petkov A.F.¹, Shavkov M.V.²

¹*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh*

²*LLC Rushydrocom, Voronezh*

Operating conditions for forest planting units

Abstract. Studying operating conditions is crucial when designing and determining the required number of forest planting machines that meet the agroforestry requirements for a given forest growing zone. Depending on the group of types of growing conditions and the category of forest-cultivated area, in each forest-growing zone various methods of preparing areas, cultivating the soil and creating forest crops are used. The paper presents a brief analysis of the operating conditions of forest planting machines. The main indicators influencing reforestation technology have been identified. The main operational indicators of the forestry unit are presented.

Keywords: forest planting machine, quality of forest planting, afforestation area, felling, smooth operation of the unit.

1. Введение

Всесторонняя и полная оценка параметров того или иного агрегата является сложной задачей, так как при этом должен быть учтен весь комплекс требований, предъявляемых к машине.

К основным критериям, оценивающим технологический процесс механизированной посадки леса, следует отнести агролесотехнические, энергетические, эксплуатационные и экономические показатели. Знание факторов, влияющих на вышеуказанные показатели работы лесопосадочного агрегата, и форм их проявления позволит установить возможность улучшения качественных и количественных показателей и наметить ряд мероприятий, направленных на улучшение конструкции машины [1, 2].

Лесопосадочную машину следует рассматривать как динамическую систему с несколькими входными и выходными параметрами. Входные параметры представляют собой возмущающие воздействия (неровности вырубki, наличие пней и порубочных остатков, мозаика почв, подготовка почвы и др.), а выходные - определяют качество работы машины, ее энергетические и технико-экономические показатели (качество посадки и заделки, расход энергии, затраты труда и др.) [3, 4].

Целью изучения научно-технической литературы является выбор и краткий анализ наиболее важных показателей оценки лесопосадочных машин.

2. Материалы и методы

Рассматривая лесокультурную площадь, проф. Огиевский В.В. [5] расценивал ее как среду при производстве культур и последующем выращивании леса. При этом он рекомендовал, во-первых, учитывать ее производительность, возможность выращивать на ней те или иные древесные породы. Показателями производительности лесокультурной площади являются почвенно-грунтовые условия, физико-химические свойства почв, тип вырубki, а также тип леса и бонитет насаждения, произраставшего на данной площади. Во-вторых, знать свойства лесокультурной площади, определяющие метод и способ производства культур и технологию уходов за ними. Метод и способ производства лесных культур определяются, прежде всего, климатическими условиями, рельефом местности, почвенно-грунтовыми условиями, бывшим типом леса и типом вырубki. Необходимо также учитывать: пнистость и степень захламленности, определяющие возможность механизации лесокультурных работ; состав, возраст, состояние и размещение естественного возобновления; характер воздействия лесозаготовительного процесса и процесса очистки вырубok от порубочных остатков на растительный покров и почву; зараженность территории фито- и энтомоу вредителями.

Как известно, вся территория нашей страны разделена на ряд крупных географических районов, в каждом из которых предусмотрено выделение одной или нескольких зон по лесорастительным условиям. Для лесного хозяйства

наибольшее значение имеют лесная, лесостепная и степная зоны, в которых лесовосстановительные и полезащитные работы осуществляются в наибольших объемах. Лесная зона широко распространена и занимает более половины площади Европейской части России и свыше 3/5 территории Сибири [4, 6].

Для тяжелых почв зоны в осенний и весенний периоды характерны явления вспучивания и выжимания растений, с чем необходимо считаться при создании лесных культур.

В лесной зоне количество осадков превышает испарение, что ведет к длительному сезонному переувлажнению почв, особенно на отрицательных элементах рельефа.

Анализируя в каждой группе тип и состояние почвы, можно сделать вывод, что последние оказывают определяющее влияние на удельное сопротивление лесопосадочной машины и на тягово-сцепные свойства трактора. Расход энергии агрегата на самопередвижение будет тем меньше, чем ровней, плотней и суше почва.

Тип почвы и ее состояние необходимо рассматривать с двух точек зрения: как среду обработки, оказывающую значительное влияние на удельное сопротивление машины, и как несущую поверхность для передвижения лесопосадочного агрегата.

Основными оценками сложности вырубki являются среднее количество пней и степень захламленности. Степень захламленности оценивается отношением количества кубических метров валежа, порубочных остатков к площади вырубki. Градации степени захламленности в настоящее время нет.

На работу лесопосадочных агрегатов существенное влияние оказывает макро- и микрорельеф лесокультурной площади. Для лесной зоны наиболее характерны два типа макрорельефа: равнинный и холмистый. При равнинном рельефе, по сравнению с холмистым, условия эксплуатации по комплексу показателей, в конечном итоге, характеризуются большей производительностью используемых агрегатов [1, 3].

Эксплуатационные показатели.

Одним из важных эксплуатационных показателей лесохозяйственного агрегата является плавность хода. От последнего в значительной степени зависит качество выполняемой работы, безопасность движения и условия труда обслуживающего персонала, производительность, долговечность и экономичность работы агрегата.

Плавность хода зависит, в основном, от микрорельефа лесокультурной площади, сложности вырубki, мастерства вождения, общей компоновки агрегата и конструктивных особенностей лесохозяйственной (в частности - лесопосадочной) машины.

В теории трактора плавность хода рассматривается с точки зрения уменьшения колебаний, вызываемых неровностями участка и действующих отрицательно на организм тракториста [7]. Основными показателями плавности хода являются ускорение и частота колебаний. Колебания деталей иногда называют вибрациями.

Значительная доля повреждений частей машин происходит вследствие напряжений, возникающих при их колебаниях, возбуждаемых различными периодическими или внезапно приложенными силами.

В некоторых случаях вибрационная нагрузка сама по себе может послужить причиной разрушения, особенно при возникновении резонансных и других неустойчивых состояний.

Факторами, снижающими колебательные деформации, являются естественное демпфирование вследствие внутреннего трения в материале и узлах конструкции или внешнего трения от взаимодействия с внешней средой, а также искусственное демпфирование и успокоение колебаний за счет применения различных устройств.

Фундаментальные исследования по теории колебаний касаются, в основном, автомобилей и отражены в работах Чудакова Е.А., Бронштейна Я.И., Ротенберга Р.В., Певзнера Я.М. и других. В них дается анализ влияния различных параметров автомобиля на плавность его хода и другие эксплуатационные качества, рассматриваются вопросы динамики автомобильных поездов. Разработке динамических моделей вертикальных, продольно-угловых и поперечно-угловых колебаний автомобиля и автопоезда посвящены исследования Ротенберга Р.В., Гастева Б.Г. и других.

Существенное место в комплексе исследований по лесотранспортным машинам занимает проблема колебаний и подрессоривания трелевочных тракторов. В частности, вопросы колебаний трелевочных машин рассматриваются в работах Анисимова Г.М., Ковалева Ю.Л.

Исследованиями установлено, что вертикальные ускорения на сиденье колесного трактора, движущегося по стерне, при повышении скорости с 7 до 20 км/ч возрастают в 8 раз, а при переезде через единичную неровность - на 25% [7].

3. Заключение

Анализируя условия эксплуатации лесопосадочных машин, можно сделать вывод, что показателями, определяющими возможность механизированной посадки леса на вырубках, являются количество пней и степень захламленности. Кроме этого, существенное влияние на выполнение технологического процесса посадки оказывают категория и рельеф лесокультурной площади, тип и состояние почвы, тип леса.

Анализируя исследования, посвященные колебаниям автомобилей и тракторов общего назначения, лесотранспортных машин, можно сделать следующий вывод о том, что теория колебаний вышеуказанных агрегатов и машин не может быть полностью приемлема для расчета колебаний лесопосадочных машин; в литературе отсутствуют конкретные данные о влиянии привода рабочих органов на колебания лесохозяйственных машин.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010/>

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010/>

Список литературы

1. Гончаров П.Э. Машины и механизмы лесного и лесопаркового хозяйства : учебное пособие / П.Э. Гончаров, И.М. Бартенев, М.В. Драпалюк. – Воронеж: ВГЛТУ, 2016. – 196 с.
2. Бубнов С.С. Обзор конструкций лесопосадочных машин для открытых площадей и расчищенных вырубок / С.С. Бубнов, С.В. Малюков, А.А. Аксенов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика.
3. Бартенев И.М. Лесопосадочные машины. Теория. Исследование. Конструкции: монография / И.М. Бартенев. – Воронеж: ВГЛТУ, 2015. – 219 с.
4. Григорьев И.В. Технология и машины лесовосстановительных работ: учебник / И.В. Григорьев, О.И. Григорьева, А.И. Никифорова. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 272 с.
5. Огиевский В.В. Лесные культуры и мелиорация / В.В. Огиевский и др. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 372 с.
6. Козьмин С.Ф. Механизация лесного хозяйства и ландшафтного строительства : учебник для вузов / С.Ф. Козьмин, Б.Г. Мартынов, С.В. Спиридонов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 428 с.
7. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных агрегатов / Д.Н. Саакян. – М.: Машиностроение, 1969. – 255 с.

References

1. Goncharov P.E., Bartenev I.M., Drapalyuk M.V. Machines and mechanisms of forestry and forest park management: textbook. Voronezh, 2016. 196 p.
2. Bubnov S.S., Malyukov S.V., Aksenov A.A. Review of designs of forest planting machines for open areas and cleared areas. Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2020. Vol. 8. No. 1 (48). pp. 29-34. DOI 10.34220/2308-8877-2020-8-1-29-34.
3. Bartenev I.M. Forest planting machines. Theory. Study. Designs: monograph. Voronezh, 2015. 219 p.
4. Grigoriev I.V., Grigorieva O.I., Nikiforova A.I. Technology and machines for reforestation work: textbook. St. Petersburg, 2022. 272 p.
5. Ogievsky V.V. et al. Forest crops and land reclamation. Moscow, 1974. 372 p.
6. Kozmin S.F., Martynov B.G., Spiridonov S.V. Mechanization of forestry and landscape construction: textbook for universities. St. Petersburg, 2022. 428 p.
7. Sahakyan D.N. System of indicators for complex assessment of mobile units. Moscow, 1969. 255 p.

**Драпалюк М.В., Попиков П.И., Дручинин Д.Ю.,
Петков А.Ф., Поздняков А.К., Пивцов А.В.**
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Повышение эффективности рабочего процесса лесопожарного грунтомета с гидроприводом трехступенчатого ротора-метателя

Аннотация. Представлен анализ проведенных исследований причин возникновения, способов и техники, применяемых для борьбы и предотвращения лесного пожара, включающие лесные плуги, канавокопатели и грунтометательные машины. Установлено, что наиболее эффективными являются агрегаты с активными рабочими органами, но существующее фрезерные рабочие органы не позволяют доставлять необходимое количество почвогрунта к кромке лесного низового пожара.

Целью исследования является повышение эффективности рабочего процесса лесопожарного грунтомета путем обоснования параметров трехступенчатого ротора-метателя с гидроприводом. Составлены математическая модель рабочего процесса трехступенчатого ротора-метателя и программный комплекс, с помощью которых определены основные конструктивные и технологические параметры грунтометательного агрегата. Проведены лабораторные испытания с применением метода полнофакторного эксперимента. Оптимальным значением угла установки лопаток на роторе-метателе по объему метаемого грунта $0,1 \text{ м}^3$ на один м^2 площади минерализованной полосы является угол -10° , однако по энергозатратам оптимальным углом наклона лопаток для всех модификаций ротора является угол равный 0° . В результате сравнительного анализа методом альтернатив выявлено, что оптимальной модификацией ротора-метателя является R-20 при частоте вращения 20 об/с.

Ключевые слова: ротор-метатель, грунтомет, лесной пожар, почвогрунт, минерализованная полоса

**Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Druchinin D.Yu.,
Petkov A.F., Pozdnyakov A.K., Pivtsov A.V.**
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Improving the efficiency of the working process of a forest fire soil thrower with a hydraulic drive of a three-stage rotor-thrower

Abstract. An analysis of the conducted studies of the causes of occurrence, methods and techniques used to combat and prevent a forest fire, including forest

plows, ditchers and soil throwers, is presented. It has been established that units with active working bodies are the most effective, but the existing milling working bodies do not allow delivering the required amount of soil to the edge of a forest ground fire.

The aim of the study is to increase the efficiency of the working process of a forest fire soil thrower by substantiating the parameters of a three-stage rotor-thrower with a hydraulic drive.

A mathematical model of the working process of a three-stage rotor-thrower and a software package were compiled, with the help of which the main design and technological parameters of the soil-throwing unit were determined. Laboratory tests were carried out using the method of a full-factorial experiment. The optimal value of the angle of installation of the blades on the rotor-thrower in terms of the volume of thrown soil of 0.1 m³ per one m² of the area of the mineralized strip is the angle of 10°, however, in terms of energy consumption, the optimal angle of inclination of the blades for all modifications of the rotor is an angle equal to 0°. As a result of a comparative analysis by the method of alternatives it was found that the optimal modification of the rotor-thrower is R-20 at a rotation frequency of 20 rpm.

Keywords: rotor-thrower, soil thrower, forest fire, soil, mineralized strip¹.

1. Введение

Лесные пожары негативно влияют на лесные экосистемы, оказывают сильное влияние на глобальный углеродный баланс и на изменение климата. Так в Якутии, которая занимает наибольшую лесистую площадь среди всех субъектов Российской Федерации, начиная с периода 1985–1994 гг. по период 2005–2014 гг., среднее количество пожаров уменьшилось на 17%, а их средняя площадь увеличилась на 73%. Эти изменения вызваны последствиями урбанизация, постсоветской реструктуризацией государственной системы управления лесами, нехваткой бюджета и тенденцией к снижению лесохозяйственной деятельности [1].

Проведенные исследования в США с помощью методов дистанционного зондирования и данных, используемых для оценки площади лесных пожаров и силы пожаров, показали, что смоделированный лесной пожар через 20 лет после вырубki привел к значительной гибели (89%) восстанавливающегося леса, на всех блоках наблюдалось снижение количества всходов до и после рубки, в том числе на контрольных площадках [2, 3].

Для проведения профилактических и лесопожарных работ в нашей стране применяются лесные плуги и канавокопатели ПКЛ-70, ПЛ-1, ПКЛН-500А, а также фрезерные грунтометательные машины ПФ-1, ГТ-3 [4]. Основными недостатками лесных плугов и канавокопателей является недостаточная ширина противопожарной минерализованной полосы, а грунтометательных машин - малый объем грунта, подаваемый на кромку огня и тонкий слой грунта на площади противопожарной полосы.

Проведенный анализ [5] исследований рабочих процессов фрезерно-метательных рабочих органов каналостроительных и каналочистительных землеройных машин показал, что при метании грунта на расстояние 10-20 м требуется сообщить потоку грунта скорость 10-20 м/с. Однако из-за условий

износостойкости режущих элементов и энергоемкости процесса резания рекомендуемые скорости для минеральных почв находятся в пределах 3-4 м/с, а на торфяных почвах 9-10 м/с. Известно сочетание торцевой фрезы с ротором-метателем в котлованостроительной машине МДК-2. Однако совмещение рабочих процессов экскавации и метания в одном рабочем органе требует дополнительных исследований.

Авторами статьи [6] проведены экспериментальные исследования глубины обработки почвы плугами в агрегате с сельскохозяйственными тракторами в режиме реального времени. Система измерения глубины была разработана с использованием метода слияния датчиков, состоящего из линейного потенциометра, инклинометра и оптического датчика расстояния для измерения вертикальной глубины заглупления навесного орудия. Кроме того, была разработана система измерения силы тяги с использованием шестикомпонентных тензодатчиков с точностью измерений 98,9%. В результате испытаний установлено влияние глубины обработки почвы на тяговое усилие сельскохозяйственных тракторов.

В работе [7] для испытаний машинно-тракторного агрегата была создана 3д модель трактора МТЗ-82.1., оснащенного передней и задней трехточечными навесками. Методами динамики нескольких тел (МВД) смоделирована испытательная трасса, состоящий из четырех секций с различными неподвижными препятствиями: одинарной линейной; одиночный последовательный; групповой линейный; групповой последовательный. Анализ этапов движения машинно-тракторного агрегата показал, что преодоление этих препятствий при скорости 0,9 м/с происходит без потери устойчивости.

В работе [8] разработана методика исследования рабочего процесса грунтомета с учетом технических, технологических и физико-механических условий. Установлено, что выполнение этих условий возможно при наличии автоматизированного рабочего места оператора. При проведении математического моделирования процесса тушения лесных пожаров произведена оптимизация параметров комбинированного грунтомета.

В работе [9] представлен роботизированный комплекс для тушения лесных пожаров, в состав которого входит: пожарный робот, валочный робот и траншеекопатель. На первом рубеже пажаротушения производится прокладка минерализованной полосы, при этом производится валка деревьев валочным роботом и прокладка траншеи траншеекопателем. На втором рубеже пажаротушения производится непосредственное тушение пожара пожарным роботом. Контроль за проведением лесопожарных работ осуществляется с помощью дрона.

В работе авторов [10] предлагается разработка сменного лесопожарного почвообрабатывающего оборудования мульчерного типа, приспособленного к навеске на манипуляторах форвардеров и харвестеров. Это позволит навешивать сменное технологическое оборудования для профилактики и тушения лесных пожаров по мере необходимости в ограниченные периоды года.

Таким образом, проблема совершенствования способов и грунтометальной техники для профилактики и тушения лесных пожаров является в настоящее время актуальной.

Цель исследования. Повышение эффективности рабочего процесса лесопожарного грунтомета путем обоснования параметров трехступенчатого ротора-метателя с гидроприводом.

2. Материалы и методы

Предлагаемая новая конструкция грунтомета (Figure 1) содержит: раму 1, механизм навески 2, кожух-рыхлитель 3, опорные колеса 4, трехступенчатый ротор-метатель 5, гидромотор 6, лопатки 7, скобу с лемехом 8, наклонные ножи 9, лоток-подъемник 10.

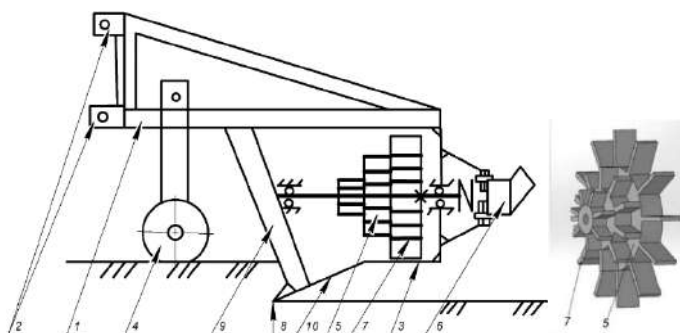


Рисунок 1. Схема лесопожарной грунтометательной машины

Динамика вращения трёхступенчатого ротора-метателя описывается следующим формульным соотношением:

$$J_{np} \frac{d\omega}{dt} = M_{\epsilon p} - \frac{1}{3} \mu \omega (R_i^3 - (R_i - h_{мет})^3), (1)$$

где: J_{np} – приведенный момент инерции вращающихся масс ротора метателя к валу гидромотора, кгм²;

ω – угловая скорость вала гидромотора, с⁻¹;

t-время, с;

$M_{\epsilon p}$ – вращающий момент определяется функциональными факторами гидромотора и давлением в системе, состоящей из гидронасоса и гидромотора, Нм;

R_i – радиус метания грунта, м;

$h_{мет}$ – высота вылета с лопатки ротора грунта, м.

μ – коэффициент, определяемый согласованием элементов трёхступенчатого ротора.

При этом давление в системе определяется из уравнения расходов рабочей жидкости:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{K_p} (q_n n_n - q_m \omega - a_y p), (2)$$

где: p – давление рабочей жидкости, Па;

q_n, q_m – рабочие объемы насоса и гидромотора, м³/об;

a_y – коэффициент утечек, м³/(с·Па);

n_H – частота вращения насоса, c^{-1} ;

K_p – коэффициент податливости упругих элементов гидропривода, $m^5/(H \cdot c)$.

Коэффициент податливости упругих элементов гидропривода определяется по эмпирической формуле:

$$K_p = \frac{10^{-5}}{7,28 p + 106}. \quad (3)$$

В первом приближении, при условии стационарности давления в системе, уравнение (1) решается аналитически:

$$\omega = \omega_r (1 - (1 - K_\omega t / \omega_0) e^{-K_\omega t}), \quad (4)$$

где: $K_\omega = \mu(R^3 - (R-H)^3) / (3J_{пр})$, определяется сопротивлением грунта и инерцией ротора;

$\omega_r = M_{вр} \omega_0 / (J_{пр} K_\omega)$, определяется скоростью стационарного вращения ротора-метателя.

Поскольку с большой уверенностью можно утверждать, что длительность рабочего процесса ротора-метателя при тушении низового пожара значительно превосходит время релаксации давления в исследуемой системе, то угловая скорость вращения будет определяться с учётом формульного соотношения для момента вращения и величиной установившегося давления в системе:

$$\omega = \omega_r \frac{\eta_n q_m p \omega_0}{2\pi \eta_0 J_{пр} K_\omega}, \quad (5)$$

Тогда соотношение (2) с учётом (3) преобразуется в выражение:

$$\frac{dp}{dt} = (7,28p + 106)(K_\eta - K_\varepsilon p), \quad (6)$$

где введены обозначения $K_\eta = 10^5 q_m \eta_n$; $K_\varepsilon = 10^5 (\omega_r + a_y)$.

Полученное соотношение является дифференциальным уравнением первого порядка, которое с начальным условием $p=p_0$ при $t=0$ решается аналитически и позволяет получить аксиоматическое соотношение для зависимости давления от времени в исследуемой системе:

$$p = \frac{p_1 - p_2 C(1 - e^{-At})}{(1 - C e^{-At})}. \quad (7)$$

В полученном формульном соотношении (7) введены следующие обозначения:

$$p_1 = \frac{106K_\varepsilon - 7,28K_\eta - \sqrt{(106K_\varepsilon - 7,28K_\eta)^2 + 3086,72K_\eta^2}}{14,56K_\varepsilon}, \quad (8)$$

$$p_2 = \frac{106K_\varepsilon - 7,28K_\eta + \sqrt{(106K_\varepsilon - 7,28K_\eta)^2 + 3086,72K_\eta^2}}{14,56K_\varepsilon}, \quad (9)$$

$$C = (p_0 - p_1) / (p_0 - p_2), A = 7,28K_\eta (p_1 - p_2). \quad (10)$$

Разработанный программный комплекс может рассчитывать не только траектории движения почвогрунта в зависимости от конструктивных и технологических параметров ротора-метателя, по которым можно оценить величину слоя выбрасывания, но и распределения грунта в слое. Полученное в

результате вычислительного эксперимента распределение можно использовать для накопления базы данных по дальности наибольшей части выбрасываемого почвогрунта и уточнения слоя максимального засыпания с учётом физико-механических свойств почвогрунта.

Параметрами выбора оптимальной конструкции ротора метателя были выбраны дальность полета грунта, ширина полосы выброса ($\Delta\Omega$) и высота выбрасываемого грунта (ΔH), поскольку перед разработчиками стояла задача кучного выброса грунта на наиболее дальнее расстояние. Вычислительный эксперимент проводился для трех модификаций ротора-метателя. Исходными радиусами для первой ступени были $R_1 = 310$ мм, для второй радиус $R_2 = 330$ мм, для третьей радиус $R_3 = 350$ мм, при этом ступенчатость исходного ротора равна 60 мм, условно обозначен R-60. При увеличении радиусов первой и второй ступеней ротора на 40 мм и 20 мм ступени между дисками становились соответственно 20 мм и 40 мм (R-20, R-40).

В таблице (Табл. 1) представлены уровни и интервалы варьирования факторов.

Таблица 1. Определение уровней и интервалов варьирования факторов

Фактор Наименование	Уровни факторов						Интервал варьирования
	Обозначение	Натуральное	Нормализованное	Верхний	Основной	Нижний	
Скорость вращения, об/с	$n(x_1)$	X_1	20	15	12	4	
Высота лопаток, мм	$h(x_2)$	X_2	60	40	20	20	

3. Результаты исследований

В таблице (Табл. 2) представлены теоретические значения конструктивных и технологических параметров ротора-метателя, полученные на основании математической модели с помощью разработанного программного комплекса.

Таблица 2. Теоретические значения параметров ротора-метателя

№	Частота вращения ротора, об/с	Высота ступеней ротора мм	Дальность метания каждой ступенью ротора, м			Ширина полосы насыпи грунта, м	Толщина слоя насыпи грунта, м
	X_1	X_2	Y_1			Y_2	Y_3
1	-1 (12)	1 (60)	1,20	1,60	2,10	0,90	0,07
2	0 (15)	1 (60)	1,75	2,40	3,10	1,35	0,04
3	1 (20)	1 (60)	2,90	4,10	5,40	2,50	0,02
4	-1 (12)	0 (40)	1,30	1,55	1,75	0,45	0,13
5	0 (15)	0 (40)	1,90	2,30	2,65	0,75	0,08
6	1 (20)	0 (40)	3,20	3,80	4,55	1,35	0,04
7	-1 (12)	-1 (20)	1,25	1,30	1,40	0,15	0,40
8	0 (15)	-1 (20)	1,80	1,95	2,05	0,25	0,24
9	1 (20)	-1 (20)	3,00	3,30	3,50	0,50	0,12

На рисунке (2) представлен график теоретических зависимостей ширины полосы выброса грунта на кромку огня от различных модификаций ротора-метателя и частоты вращения: $\omega=12, 15$ и 20 об/с.

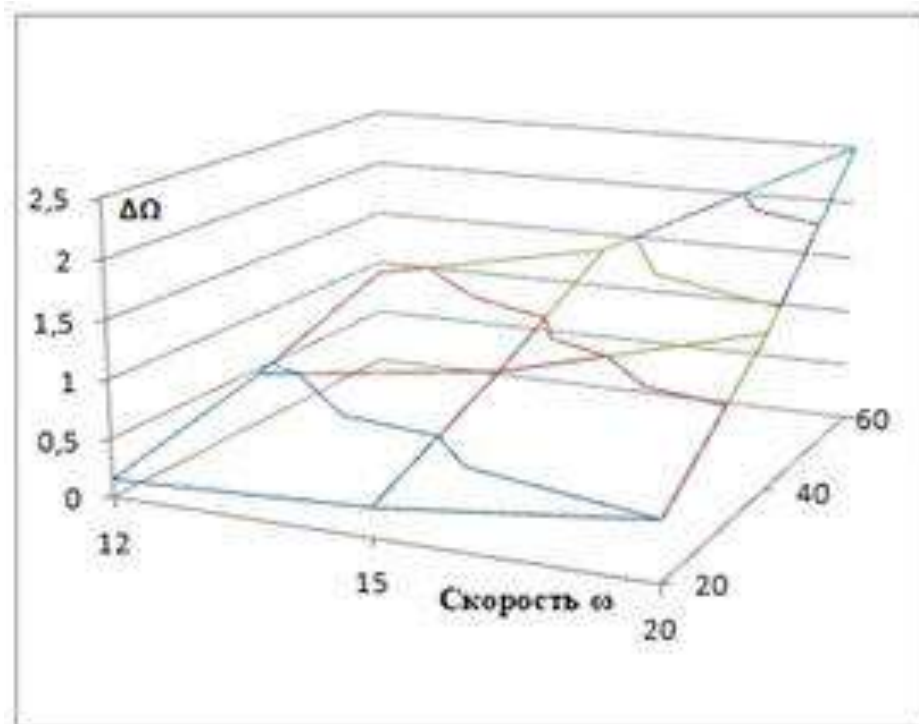


Рисунок 2. Ширина полосы грунта, формируемая дисками ротора метателя на кромке огня для модификаций R-20, R-40, R-60.

Для ротора-метателя R-20 при увеличении частоты вращения с 12 об/с до 20 об/с шириной полосы грунта увеличивается от 0,15 до 0,5 м. Для ротора-метателя R-40 при увеличении частоты вращения с 12 об/с до 20 об/с, ширина полосы грунта увеличивается от 0,45 до 1,35 м. Для ротора-метателя R-60 при увеличении частоты вращения с 12 об/с до 20 об/с шириной полосы грунта увеличивается от 0,9 м до 2,5 м. В результате сравнительного анализа методом альтернатив выявлено, что оптимальным выбором конструктивного решения будет модификация ротора метателя R-20 при условии его вращения со скоростью 20 об/с.

В результате лабораторных исследований рабочего процесса ротора-метателя, проведенных с использованием датчиков давления и тензометрической станции ZetLab, установлено, что при установке лопаток с углами близких к нулевому значению получается минимальное значение давления рабочей жидкости 6...8 МПа (Рисунок 3).

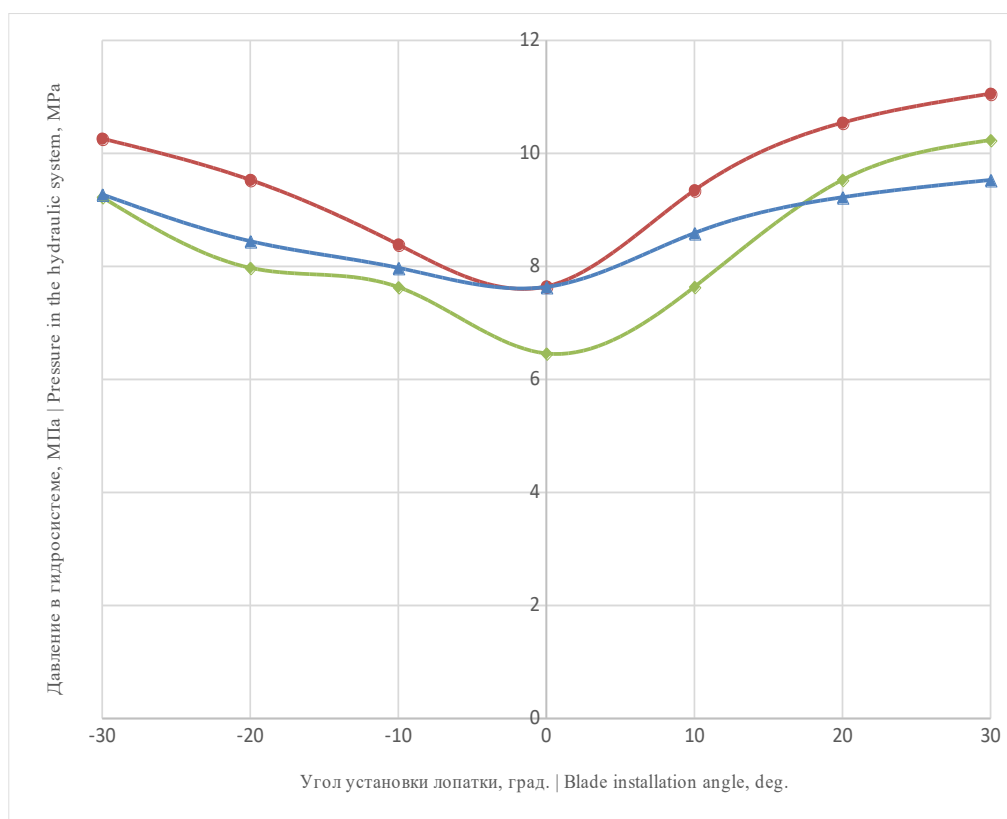


Рисунок 3. Изменение величины давления в гидроприводе фрезы-метателя с 6, 4 и 3 лопатками в зависимости от угла установки лопаток

Другим важным параметром, отслеживаемым в процессе экспериментов и характеризующим эффективность реализации процесса метания почвогрунта, является объем метаемого почвогрунта в пересчёте на квадратный метр покрываемой площади. Полученные данные представлены в виде гистограммы на рисунке (Рисунок 4). На гистограмме (Figure 4) видно, что при трех лопатках объем метаемого грунта равен $0,08 \text{ м}^3$, при четырех $0,09 \text{ м}^3$, а при шести $0,1 \text{ м}^3$, т.е. при любом количестве лопаток обеспечивается требуемый объем грунта для эффективного тушения очага горения равный $0,06 \text{ м}^3$. Установлено, что оптимальное число лопаток на роторе метателя по объему метаемого грунта равно шести с углом их установки -10° , однако по энергозатратам оптимальным углом установки лопаток для всех модификаций ротора является 0° .

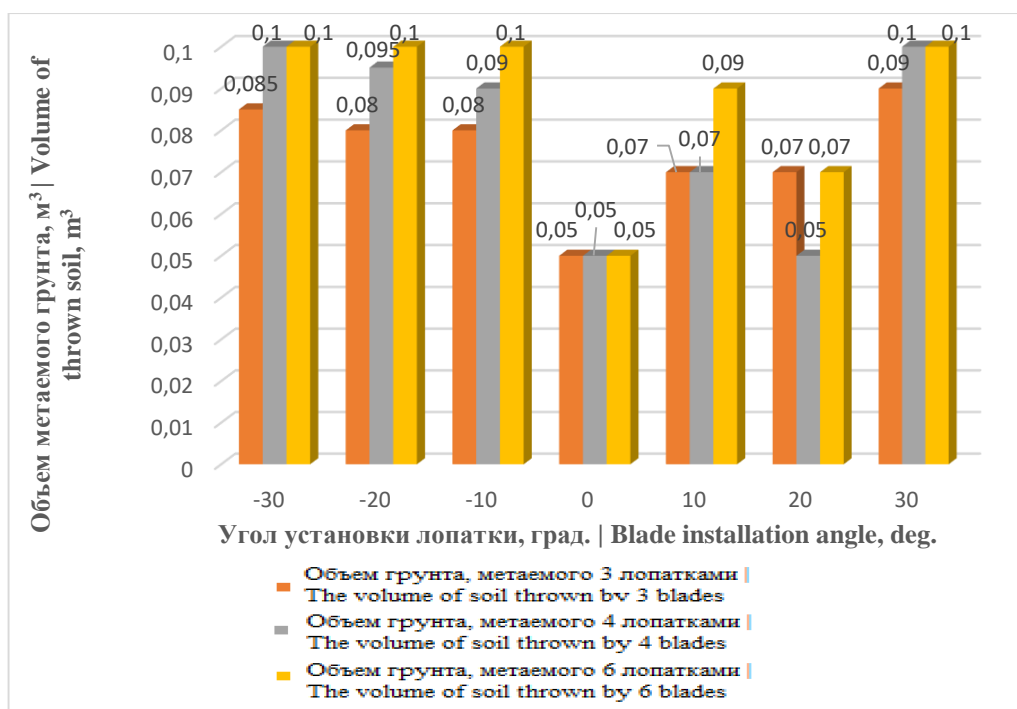


Рисунок 4. Гистограмма зависимости объёма, метаемого почвогрунта ротором-метателем с 6, 4 и 3 лопатками от угла их установки

4. Обсуждение и заключение

В результате анализа проведенных исследований выявлены причины возникновения и способы, применяемые для борьбы и предотвращения лесного пожара. Рассмотрены конструкции существующих агрегатов, включающие лесные плуги, канавокопатели и фрезы-метатели, а также проведён анализ исследований их рабочих процессов. Установлено, что для защиты от лесных пожаров высокоэффективными являются агрегаты с активными рабочими органами, но существующие фрезерные рабочие органы не позволяют доставлять необходимое количество почвогрунта к кромке лесного низового пожара.

Нами разработана новая грунтометательная машина с трехступенчатым ротором-метателем, способным доставлять необходимый объем почвогрунта за счёт разделения уровней забора из разных пластов.

Составлены математическая модель рабочего процесса трехступенчатого ротора-метателя и программный комплекс, с помощью которого определены основные параметры грунтометательного агрегата: траектория движения почвогрунта, толщина слоя выбрасывания, радиус дисков ротора-метателя, скорость вращения и потребляемая мощность, угол вылета грунта, угол наклона лопаток с учётом адгезивных и адсорбционных свойств почвогрунта.

Проведены лабораторные испытания с применением метода полнофакторного эксперимента и современного тензометрического оборудования с использованием датчиков давления и тензометрической станции ZetLab (измерительная тензометрическая система ZET 058).

При установке на роторе-метателе трех лопатках объем метаемого грунта составляет 0,08 м³, при четырех - 0,09 м³, а при шести - 0,1 м³. Таким образом, предлагаемая грунтометательная машина с трехступенчатым ротором-метателем обеспечивает метаемый объем почвогрунта, превышающий требуемый для локализации очага горения равный 0,06 м³.

Оптимальным значением угла установки лопаток на роторе-метателе по объему метаемого грунта 0,1 м³ на 1м² площади минерализованной полосы является угол -10°, однако по энергозатратам оптимальным углом наклона лопаток для всех модификаций ротора является угол равный 0°, поэтому необходимо для конкретных условий профилактики и тушения лесных пожаров принимать компромиссное решение. В результате сравнительного анализа методом альтернатив выявлено, что оптимальным выбором конструктивного решения будет модификация ротора метателя R-20 при частоте вращения 20 об/с.

Список литературы

1. Daiju N., Tuyara G., Aleksandr I. 2020 Impacts and management of forest fires in the Republic of Sakha, Russia: *A local perspective for a global problem*. August, Polar Science 27(4):100573, DOI:10.1016/j.polar.100573.
2. Eldar K., Oleg V., Sergey L., Jinming S., Jinliang W., Xiaomei L., Janine C., Denis D., Yibo W. 2022, Remote Sensing of Forest Burnt Area, Burn Severity, and Post-Fire Recovery: A Review. *Remote Sens.* 14(19), 4714; <https://doi.org/10.3390/rs14194714>.
3. Morris C. J., Maureen C. K., Sarah C. H., Derek C. J. 2020 Effects of post-fire management on dead woody fuel dynamics and stand structure in a severely burned mixed-conifer forest, in northeastern Washington State, USA, *Forest Ecology and Management* (IF 4.384) Pub Date: 2020-08-01 , DOI:10.1016/j.foreco. 118190.
4. Бартнев И.М., Петков А.Ф., Попов М.А. 2020 Анализ рабочих процессов роторов-метателей Лесопожарных грунтометов – полосопрокладывателей. *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. Т. 8. № 1 (48). С. 23-28.
5. Малюков С.В., Аксенов А.А., Малюкова М.А. 2020 Анализ исследований фрезерно-метательных рабочих органов землеройных машин. *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. т. 8. № 3 (50). с. 222-226.
6. Yeon-Soo K., Taek-Jin K., Yong-Joo K., Sang-Dae L., Seong-Un P., Wan-Soo K. 2020 Development of a Real-Time Tillage Depth Measurement System for Agricultural Tractors: Application to the Effect Analysis of Tillage Depth on Draft Force during Plow Tillageю *Sensors* , 20 (3), 912; <https://doi.org/10.3390/S20030912>.
7. Lysych M.N. 2020 Study driving dynamics of the machine-tractor unit on a virtual stand with obstacles. Published under licence by IOP Publishing Ltd *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1515, Engineering and Innovative Technologies **Citation** M N Lysych *J. Phys.: Conf. Ser.* 1515 042079 **DOI** 10.1088/1742-6596/1515/4/042079.

8. Анохин Р.А., Анохин К.А., Виноградова Е.А., Каримов Б.М., Кныш С.А., Мамонтова А.А. 2022 Разработка автоматизированного рабочего места оператора установки для тушения лесных пожаров В книге: *Математические методы и модели техники, технологий и экономики. материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции*. Санкт-Петербург. С. 118-121.
9. Никитин В.С., Голубин С.А., Белов Р.Б., Андрианов Н.В. 2021 Экспериментальный роботизированный комплекс для тушения лесных пожаров и предложения по роботизации лесопожарных подразделений рослесхоза российской федерации в сборнике: *Перспективные системы и задачи управления. материалы xvi всероссийской научно-практической конференции и xii молодежной школы-семинара*. Ростов-на-дону, с. 118-133.
10. Калинин Р.К. 2020 Почвообрабатывающее оборудование в системе техники для предотвращения и тушения лесных пожаров. *Тенденции развития науки и образования*. № 67-2. С. 99-102.

References

1. Daiju N., Tuyara G., Aleksandr I. 2020 Impacts and management of forest fires in the Republic of Sakha, Russia: A local perspective for a global problem. August, *Polar Science* 27(4):100573, DOI:10.1016/j.polar.100573.
2. Eldar K., Oleg V., Sergey L., Jinming S., Jinliang W., Xiaomei L., Janine C., Denis D., Yibo W. 2022, Remote Sensing of Forest Burnt Area, Burn Severity, and Post-Fire Recovery: A Review. *Remote Sens.* 14(19), 4714; <https://doi.org/10.3390/rs14194714>.
3. Morris C. J., Maureen C. K., Sarah C. H., Derek C. J. 2020 Effects of post-fire management on dead woody fuel dynamics and stand structure in a severely burned mixed-conifer forest, in northeastern Washington State, USA, *Forest Ecology and Management* (IF 4.384) Pub Date: 2020-08-01 , DOI:10.1016/j.foreco. 118190.
4. Bartenev I.M., Petkov A.F., Popov M.A. 2020 Analysis of the working processes of rotor-throwers of forest-fire grunt meters – strip-laying machines. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. Vol. 8. No. 1 (48). pp. 23-28.
5. Malyukov S.V., Aksenov A.A., Malyukova M.A. 2020 Analysis of research of milling-throwing working bodies of earthmoving machines. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. vol. 8. No. 3 (50). pp. 222-226.
6. Yeon-Soo K., Taek-Jin K., Yong-Joo K., Sang-Dae L., Seong-Un P., Wan-Soo K. 2020 Development of a Real-Time Tillage Depth Measurement System for Agricultural Tractors: Application to the Effect Analysis of Tillage Depth on Draft Force during Plow Tillageю *Sensors* , 20 (3), 912; <https://doi.org/10.3390/S20030912>.
7. Lysych M.N. 2020 Study driving dynamics of the machine-tractor unit on a virtual stand with obstacles. Published under licence by IOP Publishing Ltd *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1515, Engineering and Innovative

Technologies **Citation** M N Lysych *J. Phys.: Conf. Ser.* 1515 042079
DOI 10.1088/1742-6596/1515/4/042079.

8. Anokhin R.A., Anokhin K.A., Vinogradova E.A., Karimov B.M., Knysh S.A., Mamontova A.A. 2022 Development of the automated workplace of the operator of the installation for extinguishing forest fires In the book: Mathematical methods and models of engineering, technology and economics. materials of the All-Russian Student scientific and practical conference. St. Petersburg. pp. 118-121.
9. Nikitin V.S., Golubin S.A., Belov R.B., Andrianov N.V. 2021 Experimental robotic complex for extinguishing forest fires and proposals for robotization of forest fire departments of the Federal Forestry Agency of the Russian Federation in the collection: Promising systems and management tasks. materials of the xvi All-Russian scientific and practical conference and the xii youth school-seminar. Rostov-on-Don, pp. 118-133.
10. Kalinin R.K. 2020 Tillage equipment in the system of equipment for the prevention and extinguishing of forest fires. Trends in the development of science and education. No. 67-2. pp. 99-102.

Зимарин С.В., Четверикова И.В., Хрипченко М.С.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Оценка качества обработки почвы комбинированным корпусом плуга для нераскорчеванных вырубок

Аннотация. Обоснованы параметры комбинированного корпуса плуга для основной обработки почвы на лесных площадях. Рассмотрены технологии по лесовосстановлению, наносящие наименьший вред экологии на вырубках и экономящие материальные средства за счет отказа от традиционной корчевки пней. Предложена новая конструкция корпуса плуга, которая обеспечит требуемое качество оборота и сохранность почвенного пласта на вырубках. В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению характеристик оценки качества обработки почвы орудием, в частности, определены поворот почвенного пласта и коэффициент его деформации. Установлено, что наибольшее влияние на вышеназванные характеристики работы орудия оказывает угол атаки, менее значимое - угол наклона дискового корпуса, совсем незначительное - угол поворота отвала. При этом угол атаки и угол наклона дискового корпуса оказывают противоречивое влияние на процесс обработки, так увеличение угла атаки и снижение угла наклона дискового корпуса с одной стороны повышают оборот почвенного пласта, с другой стороны снижают его сохранность. Получены регрессионные модели, позволяющие определять оптимальные технологические параметры комбинированного корпуса плуга, такие как угол атаки, угол наклона дискового корпуса и угол поворота отвала.

Ключевые слова: лесное хозяйство, вырубка, основная обработка почвы, дисковые орудия, корпус плуга.

Zimarin S.V., Chetverikova I.V., Khripchenko M.S.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Assessment of the quality of tillage with a combined plow body for uncorrected cuttings

Abstract. The parameters of the combined body of the plow for basic tillage in forest areas are substantiated. The technologies of reforestation that cause the least harm to the environment in deforestation and save material resources by abandoning

the traditional uprooting of stumps are considered. A new design of the plow body is proposed, which will ensure the required quality of turnover and the safety of the soil layer in the cuttings. The paper presents the results of experimental studies to determine the characteristics of assessing the quality of tillage with a tool, in particular, the rotation of the soil layer and its deformation coefficient are determined. It is established that the angle of attack has the greatest influence on the above-mentioned characteristics of the gun, the angle of inclination of the disk housing is less significant, and the angle of rotation of the blade is quite insignificant. At the same time, the angle of attack and the angle of inclination of the disk housing have a contradictory effect on the processing process, so an increase in the angle of attack and a decrease in the angle of inclination of the disk housing on the one hand increase the turnover of the soil layer, on the other hand reduce its safety. Regression models are obtained that allow determining the optimal technological parameters of the combined plow body, such as the angle of attack, the angle of inclination of the disk body and the angle of rotation of the blade.

Keywords: forestry, logging, basic tillage, disk tools, plow body.

Введение

Технология нарезки плужных борозд или полос на лесных площадях позволяет избежать проведения операций по корчеванию пней, которые характеризуются большими материальными и энергетическими затратами. Кроме этого уменьшается отрицательное экологическое воздействие, возникающее при раскорчевке пней, так как вместе с пнями удаляется и верхний гумусированный слой почвы и обнажаются нижележащие бесструктурные горизонты. Расчищенная полоса приобретает в поперечном сечении ложбинный профиль, способствующий застою воды и локальному заболачиванию. Культуры, посаженные по таким полосам, слабо развиваются и часто гибнут [1,2,3,4,5].

Полосная вспашка проводится многокорпусными дисковыми и лемешными плугами. Лемешные плуги полностью оборачивают почвенный пласта, сохраняя его целостность, что обеспечивает заделку растительных остатков в верхний слой почвы, способствуя, таким образом накоплению гумуса. Но лемешные плуги малоэффективны на нераскорчеванных вырубках, т.к. имеют низкую проходимость, плохо преодолевают встречающиеся препятствия (пни, корни и т.п.), испытывают большие ударные нагрузки при встрече с ним. Дисковые плуги лишены этого недостатка, однако, как показали проведенные исследования, сферические диски ни при каких конструктивно-технологических параметрах не могут обеспечить полный оборот и сохранность почвенного пласта [6,7,8,9,10].

Целью работы является исследование процесса оборота и деформации почвенного пласта комбинированным корпусом плуга. Подрезанный плужным корпусом почвенный пласта необходимо полностью обернуть, сохранив его форму и уложить рядом с бороздой на необработанную поверхность почвы, сохранив его целостность. Следовательно, оборот и коэффициент деформация

почвенного пласта являются значимыми характеристиками, определяющим качество бороздной подготовки задернелых лесных почв.

Материалы и методы

Разработанная конструкция комбинированного корпуса плуга сочетает в себе преимущества свободно установленного (вращающегося) дискового корпуса по преодолению встречающихся препятствий и лемешного корпуса, обеспечивающего качественную обработку почвы.

Предлагаемый комбинированный корпус плуга (figure 1) содержит стойку 1, в ступице которой на подшипниках на оси установлен сферический диск 2, который заторможен посредством пластинчатой пружины 4; к сферическому диску жестко прикреплен отвал 3. Неподвижный сферический диск подрезает почвенный пласт, отвал способствует обороту и укладке пласта рядом с бороздой в виде сплошной ленты, сохраняя свою целостность. При встрече с препятствием, происходит растормаживание сферического диска и перекачивание дискового корпуса через препятствие, по преодолению препятствия сферический диск тормозится пластинчатой пружиной [11].



Экспериментальные исследования по изучению качества обработки почвы комбинированным корпусом плуга проводились методом закладки в почву шашек (кубиков) размером 10x10x10 мм, которые укладывались на пути движения орудия на расстоянии друг от друга 50 мм. Координаты шашек определялись профиломером-координатором (figure 2).



Рисунок 2. Профиломер-координатор

Угол поворота пласта (ψ) характеризует способность комбинированного корпуса плуга оборачивать пласт, угол определяется из выражения:

$$\psi = \frac{\psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_n}{n-1} = \frac{\sum \arctg \frac{z_{k_i} - z_{k_1}}{y_{k_i} - y_{k_1}}}{n-1}, \quad (1)$$

где z_{k_1}, y_{k_1} – конечная вертикальная и поперечная координаты первой меченой шашки;

z_{k_i}, y_{k_i} – конечная вертикальная и поперечная координаты других меченых шашек;

n – число меченых шашек.

Коэффициент деформации почвенных слоев (κ_d) показывает, насколько под действием рабочих органов изменяется расстояние между частицами, располагавшимися до обработки на одной горизонтальной линии, таким образом, коэффициент отражает сохранность почвенного пласта после воздействия на него комбинированного корпуса плуга, коэффициент находится из выражения:

$$\kappa_d = \frac{\sum \sqrt{(x_{k_i} - x_{k_{i-1}})^2 + (y_{k_i} - y_{k_{i-1}})^2}}{y_1 - y_n}, \quad (2)$$

где x_{k_i} – конечная продольная координата меченой шашки;

y_{k_i} – конечная поперечная координата меченой шашки;

y_1 – начальная поперечная координата первой меченой шашки;

y_n – начальная поперечная координата последней меченой шашки.

Исследования были проведены в почвенном канале ВГЛТУ, загруженном почвой типа легких суглинков: твердость почвы 18-21 кг/см², влажность – 7-9 %, глубина обработки – 15 см; конструктивные характеристики сферического диска комбинированного корпуса: наружный диаметр – 770 мм, радиус кривизны – 1200 мм.

Исследования предполагали построение регрессионных моделей влияния параметров комбинированного корпуса плуга (угол атаки и угол наклона корпуса плуга, угол поворота отвала) на оборот почвенного пласта и коэффициента его

деформации. Для решения поставленной задачи был реализован полный факторный эксперимент.

За варьируемые факторы были приняты: угол атаки (α), угол наклона (β) дискового корпуса, угол поворота отвала (θ). Функции отклика: y_1 , град – поворот почвенного пласта; y_2 – коэффициент деформации почвенного пласта.

Результаты

Для проверки нормальности распределения выходных величин была проведена серия из 30 опытов (табл.1) при $\alpha = 35^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ$.

Таблица 1. Результаты серии опытов.

№оп	№оп		№оп		№оп	№оп	№оп	№оп
	y_1	y_2	y_1	y_2				
1	146	1,861	11	146	1,888	21	145	1,744
2	143	1,999	12	145	1,78	22	144	1,884
3	147	1,81	13	146	1,944	23	146	1,938
4	144	1,769	14	143	1,804	24	144	1,893
5	149	1,828	15	143	1,929	25	142	1,803
6	148	1,707	16	148	1,97	26	145	1,738
7	146	1,947	17	143	1,855	27	141	1,838
8	146	1,823	18	147	1,828	28	148	1,897
9	144	1,942	19	145	1,926	29	141	1,844
10	144	1,832	20	149	1,807	30	145	1,886

Выполним проверку выборок y_1 и y_2 на выбросы по лимитам межквартильного размаха (табл. 2).

Таблица 2. Порядковые статистики выборок.

Показатели	y_1	y_2
Первый квартиль (Q_1)	143,5	1,8055
Третий квартиль (Q_3)	146	1,9115
Межквартильный размаха (IQR)	2,5	0,106
Нижний лимит	139,75	1,6465
Верхний лимит	149,75	2,0705
Минимум	141	1,707
Максимум	149	1,999

Максимальные и минимальные значения в выборках y_1 и y_2 находятся в границах лимитов, следовательно, выборки y_1 и y_2 не содержат выбросы. Проведем статистическую обработку результатов серии опытов в программе Excel (табл. 3).

Таблица 3. Статистики выборок.

Показатели	y_1	y_2
Среднее	145,6	1,857
Стандартная ошибка	0,388	0,013
Стандартное отклонение	2,126	0,073
Дисперсия выборки	4,52	0,005
Экссесс	-0,32	-0,62
Асимметричность	-0,2	-0,05

Проанализируем показатели для отклика y_1 (Рисунок 3), выполнив построение гистограммы распределения частот и полигона частот.

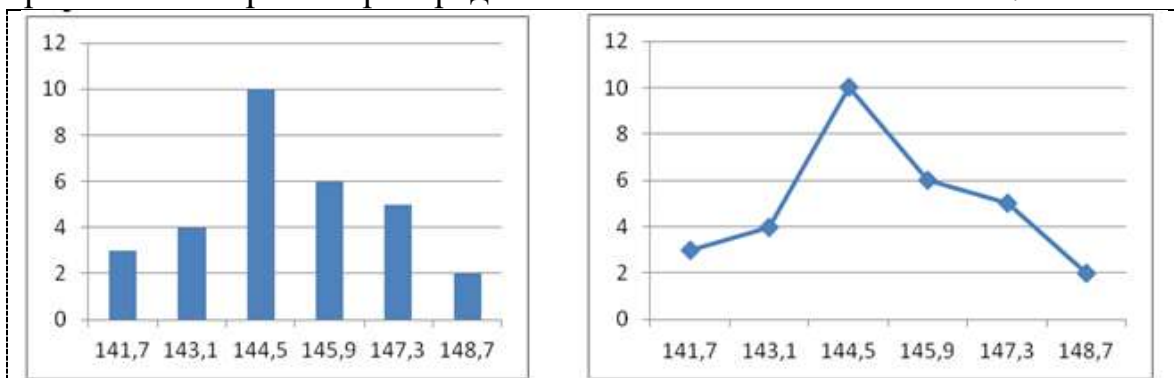


Рисунок 3. Графический анализ выборки для отклика y_1 .

Табличные критические значения асимметрии (A_s) и эксцесса (E_x) по абсолютной величине больше расчетных $A_{s\text{крит}} > A_{s\text{расч}}$ и $E_{x\text{крит}} > E_{x\text{расч}}$ ($0,865 > 0,2$; $0,661 > 0,32$), что свидетельствует в пользу гипотезы о нормальном распределении выходной величины.

Проанализируем показатели для отклика y_2 (Рисунок 4), выполнив построение гистограммы распределения частот и полигона частот.

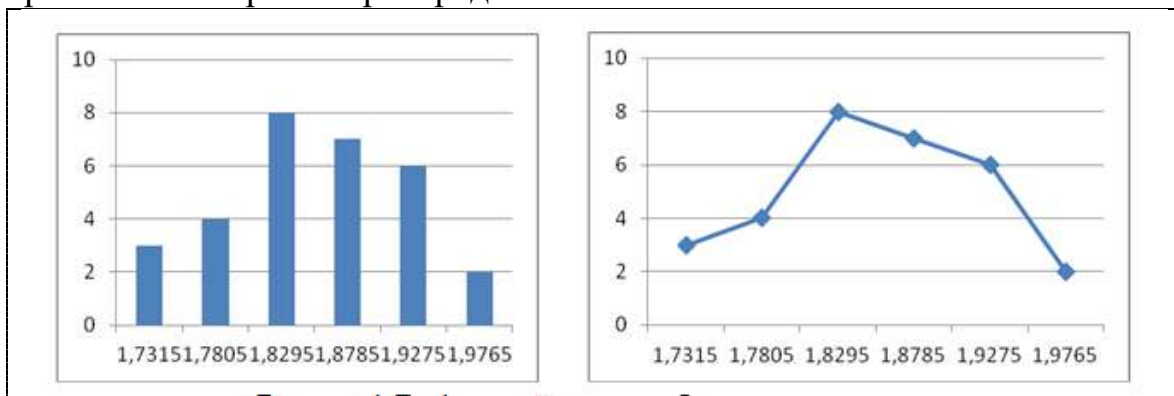


Рисунок 4. Графический анализ выборки для отклика y_2 .

Табличные критические значения асимметрии (A_s) и эксцесса (E_x) по абсолютной величине больше расчетных $A_{s\text{крит}} > A_{s\text{расч}}$ и $E_{x\text{крит}} > E_{x\text{расч}}$ ($0,865 > 0,05$; $0,661 > 0,62$), что свидетельствует в пользу гипотезы о нормальном распределении выходной величины.

Для уточнения гипотезы о нормальности распределения функций откликов проведем проверку по критерию χ^2 -Пирсона. Для этого разбиваем выборку на 6 интервалов (табл. 4, 5), количество интервалов (групп разбиения) определяется расчетом по формуле Стёрджесса, где m – количество интервалов; N – число опытов

Таблица 4. Расчет критерия Пирсона для y_1 .

Интервал	Левый конец интер- вала	Правый конец интерв- ала	Сере- дина интер- вала	Частота (p_i)	$p_i(y_i - \text{уср})^2$	Частоты теоретические ($p_{i\text{теор}}$)	$(p_i - p_{i\text{теор}})^2 / p_{i\text{теор}}$
1	141	142,4	141,7	3	33,8688	1,844409	0,72402154
2	142,4	143,8	143,1	4	15,3664	5,179805	0,26872428
3	143,8	145,2	144,5	10	3,136	8,44773	0,28522942
4	145,2	146,6	145,9	6	4,2336	8,000868	0,50037959
5	146,6	148	147,3	5	25,088	4,400525	0,08166527
6	148	149,4	148,7	2	26,4992	1,405537	0,25142422

Таблица 5. Расчет критерия Пирсона для y_2 .

Интер-вал	Левый конец интервала	Правый конец интервала	Середина интервала	Частота p_i	$p_i(y_i - \text{уср})^2$	Частоты теоретические ($p_{\text{теор}}$)	$(p_i - p_{\text{теор}})^2 / p_{\text{теор}}$
1	1,707	1,756	1,7315	3	0,0450188	1,693048	1,008905
2	1,756	1,805	1,7805	4	0,021609	4,806689	0,13538374
3	1,805	1,854	1,8295	8	0,004802	8,099057	0,00121154
4	1,854	1,903	1,8785	7	0,0042017	8,099057	0,14914415
5	1,903	1,952	1,9275	6	0,0324135	4,806689	0,29625184
6	1,952	2,001	1,9765	2	0,0300125	1,693048	0,05565095

Расчетное значение критерия χ^2 -Пирсона для y_1 составило 2,11, для y_2 – 1,65; табличное значение критерия χ^2 -Пирсона равно 7,815, исходя из того, что расчетные значения критериев не превосходят табличное значение ($7,815 > 2,11$ и $7,815 > 1,65$), принимаем гипотезу нормального распределения случайной величины в выборках.

Определим необходимое количество дублированных опытов (n) по выражению:

$$n = \frac{S^2}{\Delta^2} = t^2 s^2 / \Delta^2 = 4,74 \approx 5$$

, где – соответственно дисперсия, предельная ошибка выборки и критерий Стьюдента.

Матрица планирования полного факторного эксперимента формировалась для исключения систематических ошибок, проведена рандомизация опытов с помощью таблицы случайных чисел (количество серий опытов соответствует числу дублированных опытов).

Регрессионную модель влияния параметров комбинированного корпуса на оборот почвенного пласта будем искать в виде многочлена:

$$y_1 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3$$

По G-критерию Кохрена проводим проверку однородности дисперсий опытов. Наибольшая дисперсия первого опыта $S_1^2 = 47,3$.

Отсюда: $G_{\text{расч}} = 0,33$. Табличное значение критерия Кохрена: $G_{\text{табл}} = 0,46$. Неравенство $G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$ ($0,33 < 0,46$) позволяет сделать вывод об однородности дисперсий опытов.

Расчетные коэффициенты регрессионной модели представлены в табл. 6.

Таблица 6. Коэффициенты регрессии математической модели y_1

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
158,6	16,05	-4,75	1,95	1,6	-1	-0,2	1,15

Определяем дисперсию коэффициентов регрессии: $S^2\{b_i\} = 0,442$ Для коэффициентов регрессии среднееквадратичное отклонение составляет: $S\{b_i\} = 0,665$

Значимость коэффициентов регрессии проводим согласно неравенству: $|b_i| / \leq t_{\text{табл}} S\{b_i\}$

Из таблиц t-распределения Стьюдента выбираем значение $t_{\text{табл}}$ при уровне значимости $q = 0,01$ и числе степеней свободы $f_y = 32$; отсюда: $t_{\text{табл}} = 2,74$. Тогда: $t_{\text{табл}}S\{b_i\} = 1,82$. Вышеуказанное соотношение не выполняется для коэффициентов b_{12} ($1,6 < 1,82$), b_{13} ($1 < 1,82$), b_{23} ($0,2 < 1,82$), b_{123} ($1,15 < 1,82$), следовательно, эти коэффициенты будем считать незначимыми, а член при данном коэффициенте исключаем из выражения. Отбросив незначимые члены, получим регрессионную модель в виде:

(3)

Адекватность полученной модели проверим по F-критерию Фишера ($F_{\text{табл}}$), так как $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$ ($0,35 < 4,17$), то модель признаем адекватной. Регрессионную модель влияния параметров комбинированного корпуса на деформацию почвы будем искать в виде многочленов:

$$y_2 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3$$

По G-критерию Кохрена проводим проверку однородности дисперсий опытов. Наибольшая дисперсия пятого опыта $S_5^2 = 0,0055$. Отсюда: $G_{\text{расч}} = 0,24$. Неравенство $G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$ ($0,24 < 0,46$) позволяет сделать вывод об однородности дисперсий опытов. Расчетные коэффициенты регрессионной модели представлены в табл. 7.

Таблица 7. Коэффициенты регрессии математической модели y_2

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
2,15	0,52	-0,21	-0,01	-	0,0043	-4,55	0,0099
				0,008			

Для коэффициентов регрессии среднееквадратичное отклонение составляет: $S\{b_i\} = 0,0084$. Значимость коэффициентов регрессии проводим согласно неравенству: $|b_i| \leq t_{\text{табл}}S\{b_i\}$

Из таблиц t-распределения Стьюдента выбираем значение $t_{\text{табл}}$ при уровне значимости $q = 0,01$ и числе степеней свободы $f_y = 32$; тогда: $t_{\text{табл}} = 2,74$. Следовательно: $t_{\text{табл}}S\{b_i\} = 0,0231$.

Вышеуказанное соотношение не выполняется для коэффициентов b_3 ($0,01 < 0,0231$), b_{12} ($0,008 < 0,0231$), b_{13} ($0,008 < 0,0231$), b_{23} ($0,0043 < 0,0231$), b_{123} ($0,0099 < 0,00$), следовательно, эти коэффициенты будем считать незначимыми, а член при данном коэффициенте исключаем из выражения. Отбросив незначимые члены, получим регрессионную модель в виде:

$$y_2 = 2,15 + 0,52x_1 - 0,21x_2 \quad (4)$$

Адекватность полученной модели проверим по F-критерию Фишера ($F_{\text{табл}}$), так как $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$ ($0,69 < 4,17$), то модель признаем адекватной.

Анализ модели (3), показывает (Рисунок 5), что наиболее сильное влияние на оборот пласта оказывает изменение угла атаки, менее сильное - изменение угла наклона; наименьшее - изменение угла поворота отвала (по абсолютной величине: $b_1 > b_2 > b_3$), при этом с увеличением, как угла атаки, так и угла поворота отвала оборот пласта повышается, а с увеличением угла наклона снижается ($b_1, b_3 > 0$; $b_2 < 0$). Поверхность отклика целевой функции y_1 может

быть аппроксимирована плоскостью (незначимость коэффициентов b_{12} , b_{13} , b_{23} и b_{123}).

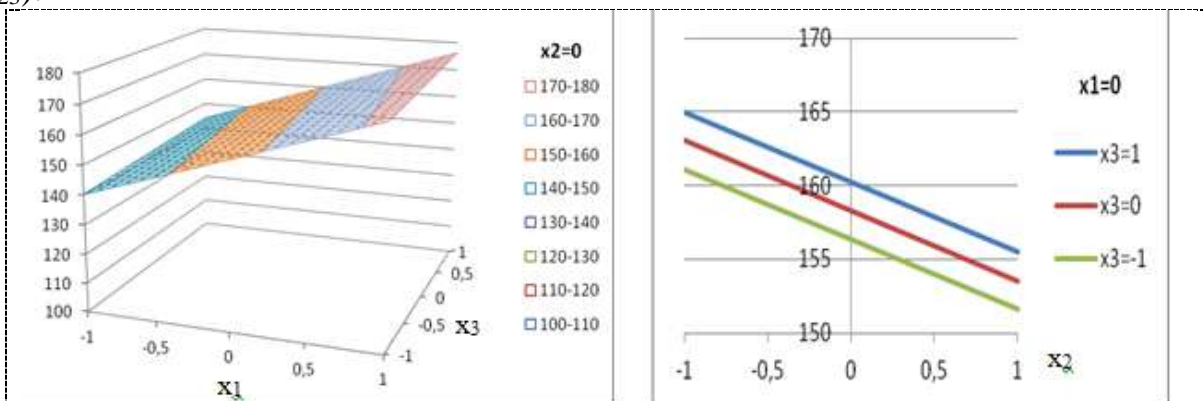


Рисунок 5. График зависимости оборота почвенного пласта от параметров комбинированного корпуса плуга.

Анализ модели (4), показывает (Рисунок 6), что наиболее сильное влияние на деформацию пласта оказывает изменение угла атаки, менее сильное - изменение угла наклона; изменением угла поворота отвала можно пренебречь (по абсолютной величине: $b_1 > b_2$), при этом с увеличением угла атаки деформация пласта повышается, а с увеличением угла наклона снижается ($b_1, b_3 > 0$; $b_2 < 0$). Поверхность отклика целевой функции y_2 может быть аппроксимирована плоскостью (незначимость коэффициентов b_3 , b_{12} , b_{13} , b_{23} и b_{123}).

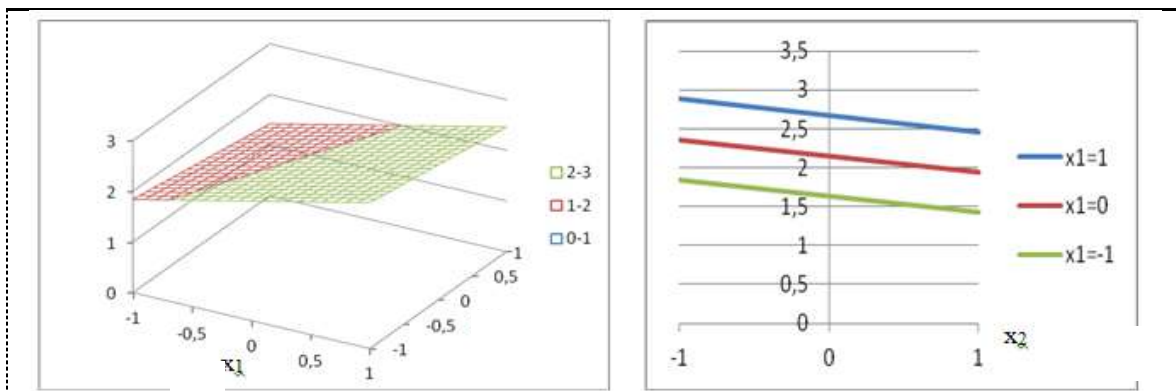


Рисунок 6. График зависимости оборота почвенного пласта от параметров комбинированного корпуса плуга.

Определим оптимальные параметры комбинированного корпуса плуга, обеспечивающие полный оборот почвенного пласта и его сохранность в виде сплошной ленты. Для этого необходимо обеспечить поворот почвенного пласта на угол неустойчивого равновесия (145^0), далее по достижению данного угла поворота целостный почвенный пласт полностью оборачивается под действие силы тяжести. При этом для обеспечения целостности (сохранности) почвенного пласта необходимо не допускать его существенных деформаций, приводящих к разрушению пласта на отдельные куски (коэффициент деформации не более

1,62). Таким образом, необходимо решить следующую оптимизационную задачу:

$$y_2 = 2,15 + 0,52x_1 - 0,21x_2 \rightarrow \max$$

при условиях, $y_1 = 158,6 + 16,05x_1 - 4,75x_2 + 1,95x_3 = 145$, $y_2 \leq 1,62$, $-1,5 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1,5$

Численное решение данной задачи, при помощи надстройки «Поиск решения» в Excel: $x_1 = -0,66$; $x_2 = 0,87$; $x_3 = 0,66$. Используя выражение: $X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{I_i}$, где X_i , x_i –

соответственно нормализованное и натуральное значение фактора; I_i – интервал варьирования; x_{i0} – натуральное значение основного уровня, найдем оптимальные значения комбинированного корпуса плуга, при которых обеспечивается полный оборот и сохранность почвенного пласта: угол атаки (α) - 36° ; угол наклона (β) - 18° ; угол поворота отвала (θ) - 16° .

Заключение

Проведено экспериментальное исследование комбинированного корпуса плуга для лесных площадей, который может входить в конструкции многофункциональных (комбинированных) орудий разрабатываемых в рамках рациональной ресурсосберегающей технологии лесовосстановительных работ исключаяющей корчевку пней.

Получены регрессионные модели влияния технологических параметров орудия, таких как: угол атаки и угол наклона дискового корпуса, угол поворота отвала на качественные показатели его работы (оборот и сохранность почвенного пласта). Установлено, что наибольшее влияние на вышеперечисленные характеристики работы орудия оказывает угол атаки, менее значимое - угол наклона дискового корпуса, третьестепенное - угол поворота отвала. При этом угол атаки и угол наклона дискового корпуса оказывают противоречивое влияние на процесс обработки, так увеличение угла атаки и снижение угла наклона дискового корпуса с одной стороны повышают оборот почвенного пласта, с другой стороны снижают его сохранность.

Определены оптимальные параметры комбинированного корпуса плуга (угол атаки (α) - 36° ; угол наклона (β) - 18° ; угол поворота отвала (θ) - 16°), обеспечивающие полный оборот почвенного пласта и его сохранность в виде сплошной ленты. Для этого необходимо обеспечить поворот почвенного пласта на угол неустойчивого равновесия (145°), далее по достижению данного угла поворота целостный почвенный пласт полностью оборачивается под действие силы тяжести. При этом для обеспечения целостности (сохранности) почвенного пласта необходимо не допускать его существенных деформаций, приводящих к разрушению пласта на отдельные куски (коэффициент деформации не более 1,62).

Список литературы

1. Jansen S, Konrad H and Geburek T 2019 Crossing borders – European forest reproductive material moving in trade. *J. Environ. Manage.* **233** 308 DOI 10.1016/j.jenvman.2018.11.079

2. Magnus L, Back T E, Joakim H, Tomas N, Juan A. O and Ian W 2015 Site Preparation Techniques for Forest Restoration. *Restoration of Boreal and Temperate Forests* (Second Edition) ed J A Stanturf (Boca Raton: CRC Press) chapter 5 pp 100–117 DOI 10.1201/b18809-9
3. Wan M, Ma Y C, Feng J and Zhang W H 2016 Study of static and dynamic ploughing mechanisms by establishing generalized model with static milling forces. *Int. J. Mech. Sci.* **114** 120 doi: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.010
4. Ivetich V and Novikov A I 2019 The role of forest reproductive material quality in forest restoration. *Forestry Engineering Journal* [Lesotehnicheskij Zhurnal – in Russian] **9**(2) 56 DOI 10.34220/ISSN.2222-7962/2019.2/7
5. Annu R 2019 *Testing of tillage emplements: disc plough, mouldboard plough and disc harrow* DOI 10.13140/RG.2.2.25608.67840
6. Zimarin S V and Chetverikova I V 2021 The study of the process of soil layer body turnover with a disc cutter on ungrubbed clearings. *Resources and Technology* [Resursy i Tehnologii – in Russian] **1**(18) 53 DOI 10.15393/j2.art.2021.5542
7. Zimarin S V, Drapalyuk M V, Khripchenko M S and Chetverikova I V, RU Patent No. 2,727,834 (24 December 2019)
8. Nartov P S 1972 *Disk tillage equipment* (Voronezh: Voronezh university) p 182 <https://search.rsl.ru/ru/record/01007180160>
9. Novikov A I and Ivetich V 2018 The effect of seed size grading on seed use efficiency and height of one-year-old container-grown Scots pine (*Pinussylvestris* L.) seedlings. *Reforesta* **6** 100 DOI 10.21750/REFOR.6.08.61
10. Freitas M G et al. 2019 Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. *Forest Ecol. Manag.* **438** 224 DOI 10.1016/j.foreco.2019.02.02
11. Zimarin S. V., Chetverikova I. V., Shcheblykin P., Borovikov R. A new safety device for driving forest tillage machines // *Resources and Technology*. 2023. No.2, Vol. 20. pp. 20-35.

References

1. Jansen S, Konrad H and Geburek T 2019 Crossing borders – European forest reproductive material moving in trade. *J. Environ. Manage.* **233** 308 DOI 10.1016/j.jenvman.2018.11.079
2. Magnus L, Back T E, Joakim H, Tomas N, Juan A. O and Ian W 2015 Site Preparation Techniques for Forest Restoration. *Restoration of Boreal and Temperate Forests* (Second Edition) ed J A Stanturf (Boca Raton: CRC Press) chapter 5 pp 100–117 DOI 10.1201/b18809-9
3. Wan M, Ma Y C, Feng J and Zhang W H 2016 Study of static and dynamic ploughing mechanisms by establishing generalized model with static milling forces. *Int. J. Mech. Sci.* **114** 120 doi: 10.1016/j.ijmecsci.2016.05.010
4. Ivetich V and Novikov A I 2019 The role of forest reproductive material quality in forest restoration. *Forestry Engineering Journal* [Lesotehnicheskij Zhurnal – in Russian] **9**(2) 56 DOI 10.34220/ISSN.2222-7962/2019.2/7

5. Annu R 2019 *Testing of tillage emplements: disc plough, mouldboard plough and disc harrow* DOI 10.13140/RG.2.2.25608.67840
6. Zimarin S V and Chetverikova I V 2021 The study of the process of soil layer body turnover with a disc cutter on ungrubbed clearings. *Resources and Technology* [Resursy i Tehnologii – in Russian] **1**(18) 53 DOI 10.15393/j2.art.2021.5542
7. Zimarin S V, Drapalyuk M V, Khripchenko M S and Chetverikova I V, RU Patent No. 2,727,834 (24 December 2019)
8. Nartov P S 1972 *Disk tillage equipment* (Voronezh: Voronezh university) p 182 <https://search.rsl.ru/ru/record/01007180160>
9. Novikov A I and Ivetich V 2018 The effect of seed size grading on seed use efficiency and height of one-year-old container-grown Scots pine (*Pinussylvestris* L.) seedlings. *Reforesta* **6** 100 DOI 10.21750/REFOR.6.08.61
10. Freitas M G et al. 2019 Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. *Forest Ecol. Manag.* **438** 224 DOI 10.1016/j.foreco.2019.02.02
11. Zimarin S. V., Chetverikova I. V., Shcheblykin P., Borovikov R. A new safety device for driving forest tillage machines // *Resources and Technology*. 2023. No.2, Vol. 20. pp. 20-35.

Никулин М.А., Иванников В.А., Латынин А.В.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Экономическая оценка эксплуатации тракторов различных классов в открытых лесных питомниках разной площади

Аннотация. Сегодня большое количество эксплуатируемой в открытых лесных питомниках техники изношено на 80 %. Применяемая техника обладает высокой производительностью, что в условиях относительно небольшого объема работ в питомниках приводит к избыточным эксплуатационным затратам. Засеваемая площадь и поля под паром в современных питомниках редко превышает 3-5 га. В данной работе рассматривается вариант переоснащения лесных питомников легкими тракторами. Цель данного исследования — оценка экономической целесообразности применения тракторов типа "Уралец-224" и "МТЗ-320" для механизации работ в открытых лесных питомниках взамен тракторов типа "МТЗ-82". Установлено, что легкие тракторы экономически целесообразно применять при годовом объеме работ, эквивалентном 65 га условной пашни и менее. При больших объемах экономически обосновано применение более производительных орудий с трактором тягового класса 1,4.

Ключевые слова: лесной питомник, механизация работ, мини-трактор, малая механизация, эксплуатационные затраты

Nikulin M.A., Ivannikov V.A., Latynin A.V.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Economic assessment of the operation of tractors of various classes in open forest nurseries of various sizes

Abstract. Today, a large number of equipment used in open forest nurseries is 80% worn out. The equipment used has high productivity, which, given the relatively small amount of work in nurseries, leads to excessive operating costs. The sown area and fallow fields in modern nurseries rarely exceed 3-5 hectares. This paper considers the option of re-equipping forest nurseries with light tractors. The purpose of this study is to assess the economic feasibility of using tractors of the Uralets-224 and MTZ-320 types for mechanization of work in open forest nurseries instead of tractors of the MTZ-

82 type. It has been established that it is economically feasible to use light tractors for an annual volume of work equivalent to 65 hectares of conventional arable land or less. For large volumes, it is economically justified to use more productive implements with a 1.4 traction class tractor.

Key words: forest nursery, mechanization of work, mini-tractor, small-scale mechanization, operating costs

1. Введение

В распоряжении Правительства РФ от 11.02.2021 N 312-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» указано в числе прочих проблем современного лесного хозяйства, что парк машин и оборудования, находящихся в постоянном бессрочном пользовании специализированных учреждений субъектов Российской Федерации, не обновлялся с 2006 года и фактически изношен на 70 - 80 процентов. Это порождает проблему рационального с экономической точки зрения обновления номенклатуры машин и оборудования.

Площадь действующих открытых лесных питомников, как правило, незначительна: поля под паром и засеянные площади редко превышают 3 га [1, 2, 3, 4]. Это весьма значимое условие при выборе тяговых средств и орудий для обеспечения предусмотренного технологического процесса.

В данной работе оцениваются тракторы разных тяговых классов. В качестве типовых выбраны «Уралец-224», «МТЗ-320» и «МТЗ-82».

2. Материалы и методы

На текущий момент есть несколько методик оценивания экономической эффективности сельхозтехники. Как правило, для стран СНГ используется методика, приведенная в ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». Однако, его применение в реалиях современной рыночной экономики можно поставить под сомнение [5]. Более актуальным является методика оценивания через расчет «часовых эксплуатационных затрат» («ЧЭЗ») [6].

Аналитически "ЧЭЗ" представлен следующим образом:

$$ZA = ZM_{\text{трактора}} + ZM_{\text{плуга}} + S_q + S_m \quad (1)$$

$$ZM_i = (C / (\mu_T \cdot T_0)) \cdot \sum_{i=1}^v K_i \quad (2)$$

$$S_q = C_T \cdot (q_n \cdot N \cdot k_{\text{ЭТ}} / 1000) \cdot k_c \quad (3)$$

$$S_m = S_{\text{ср}} \cdot r \quad (4)$$

где ZA — часовые эксплуатационные затраты агрегата, руб/ч;

ZM — часовые эксплуатационные затраты машины (орудия), руб/ч;

C — заводская цена машины (орудия), руб;

μ_T — коэффициент приравнивания величины часового амортизационного ресурса отечественных машин к стандарту ASAE;

T_0 — амортизационный ресурс машины, ч;

$T_0 = T \cdot n$, где T — годовой объем работ, ч; n — плановый срок эксплуатации, лет

$\sum_{i=1}^v K_i$ — общий коэффициент всех видов затрат, зависящих от заводской цены машины (орудия), для практических расчетов $\sum_{i=1}^v K_i = K_1 + K_2 + 0.175$, $K_1 = 1.0$, $K_2 = \frac{P_0 \cdot \mu_p}{100}$, P_0 — нормированная величина суммарных затрат на ремонт заданного класса техники за амортизационный период в процентах от заводской цены, %;

S_q — затраты на топливо и смазочные материалы, руб;

Ц_T — стоимость топлива, руб/кг;

q_n — удельный расход топлива, г/ч·л.с.;

$k_{\text{эт}}$ — коэффициент эксплуатационного расхода топлива, экспериментальный, для тракторов 0,85;

k_c — коэффициент учета стоимости смазочных материалов, для отечественных машин 1,1, для зарубежных 1,25;

S_m — расходы на оплату труда;

$S_{\text{ср}}$ — средняя ставка рабочего со всеми отчислениями, руб/чел·ч;

r — число работников для обслуживания машины.

При этом себестоимость механизированного процесса руб/га будет выражена как

$$SS_{\text{мп}} = ZW = \frac{ZA}{W_3}, \quad (5)$$

где W_3 — эксплуатационная производительность агрегата, равная

$$W_3 = 0.1 \cdot B \cdot V \cdot k_3, \quad (6)$$

где B — ширина захвата агрегата, м;

V — рабочая скорость агрегата, км/ч;

k_3 — коэффициент использования рабочего времени агрегата.

В таблице 1 указаны основные исходные данные, принятые к расчету. Используемые коэффициенты и подробное объяснение указаны в [22]. Срок эксплуатации и эксплуатационный ресурс приняты по ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки».

Таблица 1. Исходные данные, принятие в расчетах

Параметр	Уралец-224	МТЗ-320	МТЗ-82
Мощность трактора, л.с.	22	36	90
Цена трактора, руб	530000	930000	2400000
Средняя цена орудия, руб	30000	60000	150000
Срок эксплуатации, лет	10	10	10
Удельный расход топлива, г/ч·л.с.	280	320	230
Стоимость топлива, руб/кг	52	60	60

В расчетах за единицу выполненной работы принимается условный эталонный гектар, который подразумевает возможность сопоставления любого другого вида работ с условной пашней при нормальных условиях, что позволяет приближенно оценить общий объем работ в рамках предусмотренного технологического процесса.

Расчеты произведены при помощи табличного процессора MS Excel.

3. Результаты и их обсуждение

В первую очередь рассмотрим зависимость часовых эксплуатационных затрат от объема работ в условных гектарах пашни.

Стоит отметить, что себестоимость при малых объемах работ в первую очередь состоит из перенесённой стоимости трактора и орудия. На рисунке 1 видно, что разница между минитрактором и универсально-пропашным трактором в стоимости часа работы практически на порядок. Однако, с ростом объема работ разница сглаживается, т.к. основной вклад начинают вносить расходы на горюче-смазочные материалы и оплату труда операторов.

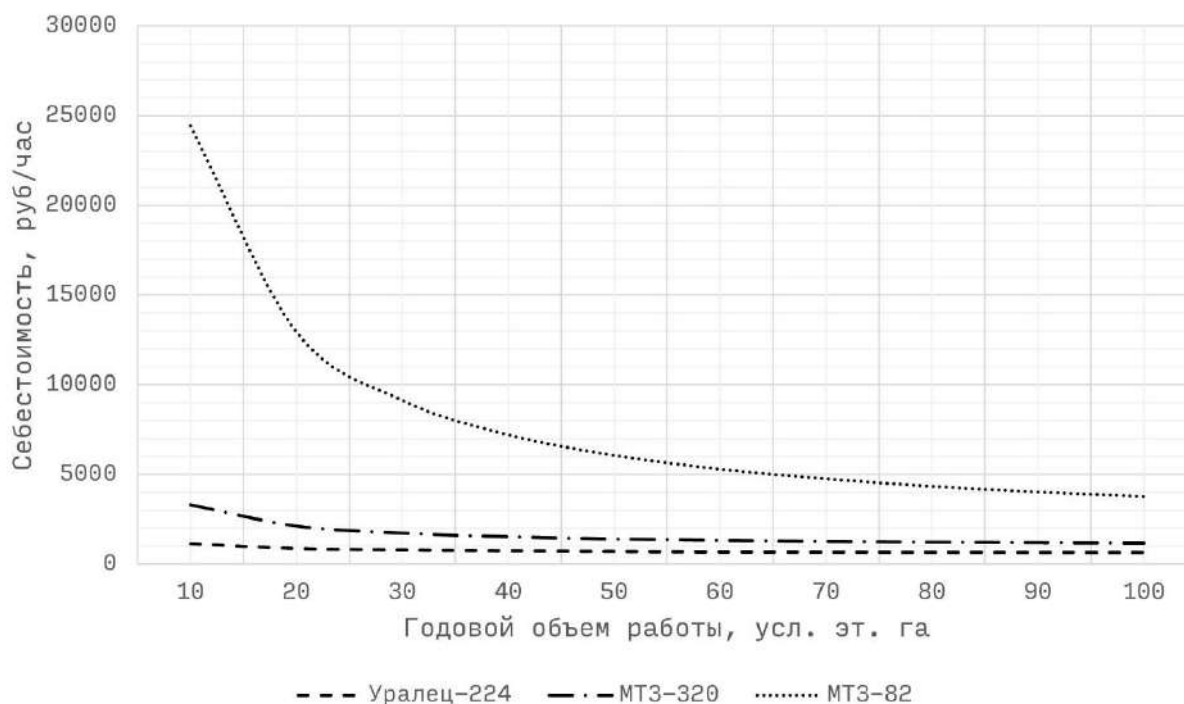


Рисунок 1 — График себестоимости выполнения работ (руб/час) в открытых лесных питомниках различной площади с применением различных тракторов с соответствующими по классу орудиями

Исходя из рисунка 1 можно ошибочно сделать вывод, что использование универсально-пропашных тракторов в технологическом процессе открытых лесных питомников экономически нецелесообразно во всём рассматриваемом диапазоне от 10 до 100 условных га пашни. Тем не менее, из рисунка 2 видно, что себестоимость выполнения работ исходя не из времени, а из объема работы в условных гектарах при использовании «МТЗ-82» и аналогичных тракторов с

соответствующими орудиями будет ниже начиная приблизительно с 60 усл. эт. га/год.

Это объясняется тем, что высокая стоимость одного часа работы, а соответственно и одного условного гектара (при том, что законодательно установлено: вся стоимость трактора должна быть перенесена на произведённую работу в течение амортизационного периода для пятого класса фондов, т.е. 7-10 лет), нивелируется с увеличением ежегодного объема работ за счет высокой производительности универсально-пропашных тракторов с соответствующими им по классу орудиями.

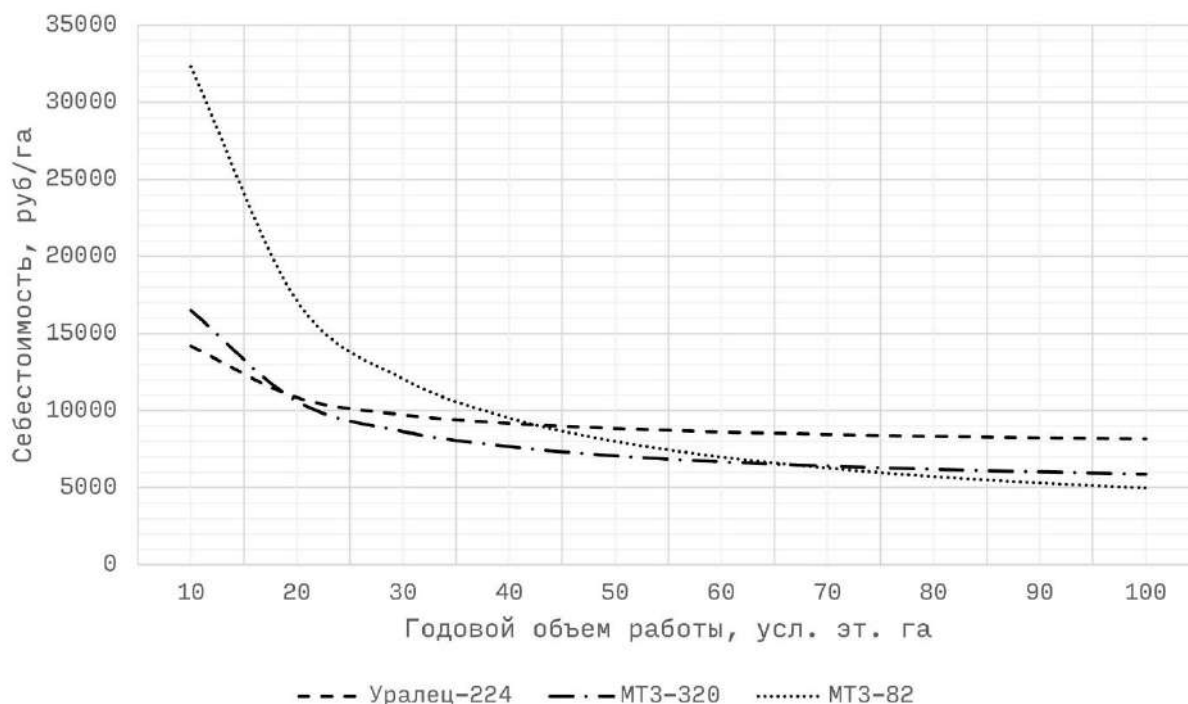


Рисунок 2 — График себестоимости выполнения работ (руб/га) в открытых лесных питомниках различной площади с применением различных тракторов с соответствующими по классу орудиями

Для того, чтобы оценить границы годового объема работ в условных эталонных гектарах для каждого из рассматриваемых вида тракторов была рассчитана стоимость годового объема работ в диапазоне от 10 до 100 усл. эт. га. На рисунке 3 показаны стоимости выполнения годового объема работ для рассматриваемых тракторов.

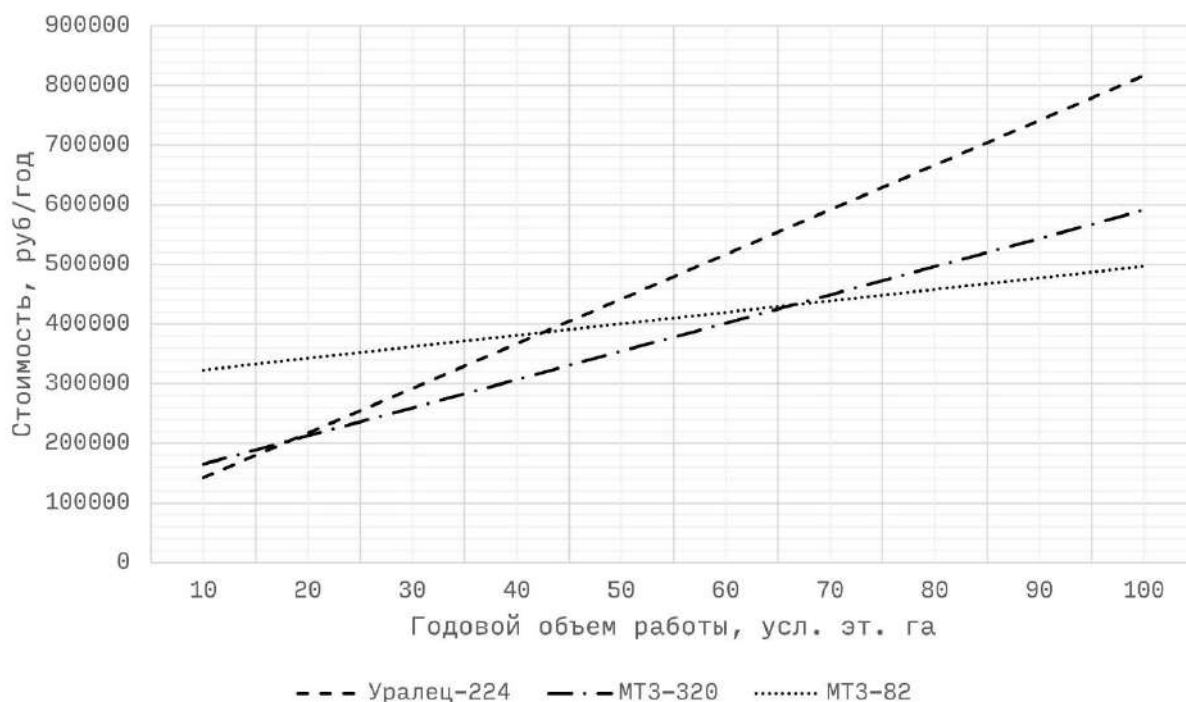


Рисунок 3 — Стоимость выполнения годового объема работ в открытых лесных питомниках различной площади с применением различных тракторов с соответствующими по классу орудиями

На рисунке 3 видно, что для тракторов типа «Уралец-224» годовой объем работ, при которых применение данных минитракторов экономически целесообразно, не превышает 20 усл. эт. га; для легких тракторов аналогичных «МТЗ-320» этот диапазон составляет 20-65 га. Для объемов свыше 65 усл. эт. га экономически и технологически целесообразно применение универсально-пропашных тракторов, аналогичных «МТЗ-82».

4. Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что применение легких тракторов и соответствующих им орудий — хорошая альтернатива дорогостоящим универсально-пропашным тракторам для применения в открытых питомниках, ежегодных объем механизированных работ в которых не превышает 65 условных эталонных гектар. Причем на объемах до 20 усл. эт. га рационально применение мини-тракторов типа «Уралец-224» и аналогичных.

Список литературы

1. Балданова, Л. П. Оценка реализации компенсационного лесовосстановления на примере Иркутской области / Л. П. Балданова // Известия Байкальского государственного университета. – 2022. – Т. 32. – № 2. – С. 407-414. – DOI 10.17150/2500-2759.2022.32(2).407-414. – EDN CSSWVA. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48747197>.
2. Демшин, С. Л. Комплекс машин для обработки почвы и посева в условиях евро-Северо-Востока / С. Л. Демшин, М. В. Симонов // Advanced Science. –

2017. – № 2(6). – С. 20. – EDN ZJRWAV. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30146087>.
3. Паленова, М.М. Лесное хозяйство Турецкой Республики: обзор / М. М. Паленова, А. Н. Филипчук, А. Н. Югов, Т. А. Золина // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 1. – С. 68-83. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.06. – EDN KPSNMR. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50372388>.
 4. Паршуков, Н. Е. Метод расчета тяговых сопротивлений плугов и других орудий при основной обработке почвы в лесном хозяйстве / Н. Е. Паршуков // Февральские чтения : Сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2013 году, Сыктывкар, 18–20 февраля 2014 года. – Сыктывкар: Сыктывкарский лесной институт, 2014. – С. 367-369. – EDN VCGEAV. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25053103>.
 5. Матвеев, А. М. О современных методиках оценки экономической эффективности использования сельскохозяйственной техники / А. М. Матвеев, И. В. Шугуров // Вестник Курганской ГСХА. – 2014. – № 4(12). – С. 5-8. – EDN TLIDIF. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23091573>.
 6. Пронин, В. М. Методика оценки технико-экономических показателей сельскохозяйственной техники по критерию часовых эксплуатационных затрат / В. М. Пронин, В. А. Прокопенко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 3. – С. 10-14. – EDN QINCPZ – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19398808>.

References

1. Baldanova, L. P. *Otsenka realizatsii kompensatsionnogo lesovosstanovleniya na primere Irkutskoy oblasti* [Evaluation of the implementation of compensatory reforestation on the example of the Irkutsk region]. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Baikal State University], 2022, no.2, pp. 407-414. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48747197>.
2. Demshin, S. L., Simonov, M. V. *Kompleks mashin dlya obrabotki pochvy i poseva v usloviyakh evro-Severo-Vostoka* [A complex of machines for tillage and sowing in the conditions of the Euro-North-East]. *Advanced Science*, 2017, no.2(6), p. 20. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30146087>.
3. Palenova M., Yugov A., Filipchuk A., Zolina T. *Forestry in the Republic of Turkey: Overview*. – Text : electronic // *Forestry information.2023*. № 1. P. 68–83. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.06
4. Parshukov N. E. *Metod Rascheta Tyagovykh Soprotivleniy Plugov I Drugikh Orudiy Pri Osnovnoy Obrabotke Pochvy V Lesnom Khozyaystve* [Method for calculating the traction resistance of plows and other implements in the main tillage in forestry], 2014, pp. 367–369. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25053103>.

5. Matveev, A. M., Shugurov, I. V. *O sovremennykh metodikakh otsenki ekonomicheskoy effektivnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki* [About modern techniques of economic efficiency assessment when using agricultural machinery]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA* [Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy], 2014, no.4(12), pp. 5-8. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23091573>.
6. Pronin, V. M., Prokopenko, V. A. Metodika otsenki tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley sel'skokho-zyaystvennoy tekhniki po kriteriyu chasovykh ekspluatatsionnykh zatrat [Methodology for assessing the technical and economic indicators of agricultural machinery by the criterion of hourly operating costs]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machines and technologies], 2013, no.3, pp. 10-14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19398808>.

**Попиков П.И., Богданов Д.С., Конюхов А.В.,
Попиков С.К., Хоменко К.Г.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Анализ исследований рабочих процессов энергосберегающих
гидроприводов и устройств высоконагруженных технологических машин
и оборудования**

Аннотация. Проведен анализ исследований рабочих процессов энергосберегающих гидроприводов и устройств с целью выявления эффективных способов снижения динамической нагруженности и энергоемкости высоконагруженных технологических машин и оборудования. При исследовании рабочих процессов энергосберегающего пневмогидравлического седельно-сцепного устройства лесовозного тягача с прицепом установлено, что рекуперлируемая мощность составила 5,1-5,9 кВт, а среднее ускорение полуприцепа 0,8... 0,81 м/с². Энергосберегающее устройство фронтального погрузчика Амкодор208В, включающее две пружины кручения, установленные между рамой и стрелой, позволяет снизить энергозатраты на 26 %. Представлены исследования по экономии энергии в процессе эксплуатации гидравлического пресса с насосно-аккумуляторным источником питания. Приведены результаты исследований энергосберегающего гидропривода лесного манипулятора и бесчокерного трелевочного захвата. Энергосберегающий гидропривод колонны манипулятора позволяет сократить энергоемкость поворота колонны на 25 % и увеличить производительность манипулятора на 14 %, а гидроаккумулятор бесчокерного захвата запасает мощность в пределах 1,7 ... 2,1 кВт. Сделан вывод о целесообразности проведения дальнейших исследований динамики энергосберегающих гидроприводов грузоподъемных механизмов манипуляторов высоконагруженных лесотранспортных машин.

Ключевые слова: манипулятор, гидропривод, рекуперация энергии, энергосберегающий гидропривод, гидроаккумулятор, рекуперация энергии, гидроманипулятор, автолесовоз.

**Analysis of studies of work processes of energy-saving hydraulic drives
and devices of highly loaded technological machines and equipment**

Abstract. The analysis of studies of the work processes of energy-saving hydraulic drives and devices was carried out in order to identify effective ways to reduce the dynamic loading and energy intensity of highly loaded technological machines and equipment. When studying the working processes of an energy-saving pneumohydraulic fifth wheel coupling of a timber tractor with a trailer, it was found that the recuperated power was 5.1-5.9 kW, and the average acceleration of the semi-trailer was 0.8 ... 0.81 m/s². The energy-saving device of the Amkodor 208V front loader, which includes two torsion springs installed between the frame and the boom, reduces energy costs by 26%. The paper presents studies on energy saving during the operation of a hydraulic press with a pump-accumulator power supply. The results of studies of the energy-saving hydraulic drive of a forest manipulator and a chokerless skidding grip are presented. The energy-saving hydraulic drive of the manipulator column makes it possible to reduce the energy consumption of the column rotation by 25% and increase the productivity of the manipulator by 14%, and the chokerless grip hydraulic accumulator stores power in the range of 1.7 ... 2.1 kW. It is concluded that it is expedient to conduct further studies of the dynamics of energy-saving hydraulic drives of load-lifting mechanisms of manipulators of heavily loaded forestry vehicles.

Key words: Manipulator, hydraulic drive, energy recovery, energy-saving hydraulic drive, hydraulic accumulator, energy recovery, hydraulic manipulator, timber hauler

1. Введение

В настоящее время в лесном комплексе широкое применение на лесозаготовках находят лесотранспортные машины манипуляторного типа. Приоритетным направлением в лесном машиностроении является повышение надежности и прочности лесных машин манипуляторного типа. Главным недостатком лесных манипуляторов являются большие динамические нагрузки в переходных режимах и раскачивание захватов с бревнами, что сильно сдерживает создание новой конкурентоспособной манипуляторной техники. Одним из способов снижения динамической нагруженности и энергоемкости технологического оборудования лесотранспортных машин является внедрение энергосберегающих гидроприводов и устройств, позволяющие аккумулировать энергию, которая теряется в процессе работы, а потом возвращает ее обратно, т.е. происходит рекуперация энергии. Кроме того, энергосберегающий гидропривод способствует снижению динамической нагруженности металлоконструкций машин и оборудования. Вопросам экономии энергии в технологических

процессах уделяется значительное внимание как у нас в стране, так и за рубежом. Для исследования рабочих процессов во всём мире широко применяется метод математического моделирования, который позволяет уже на стадии проектирования определять динамические характеристики проектируемого технологического оборудования.

Цель работы заключается в выявлении способов снижения динамической нагруженности и энергоёмкости высоконагруженных технологических машин и оборудования на основе анализа известных исследований рабочих процессов энергосберегающих гидроприводов и устройств рекуперации энергии.

2. Анализ исследований рабочих процессов энергосберегающих гидроприводов и устройств технологических машин и оборудования

Для исследования рабочих процессов энергосберегающего пневмогидравлического седельно-сцепного устройства тягача для лесных переместительных работ с прицепом при вывозке длинномерных лесоматериалов в различные условия лесовозных дорог использован метод математического моделирования [1]. Расчетная схема пневмогидравлического седельно-сцепного устройства представлена на рисунке 1.

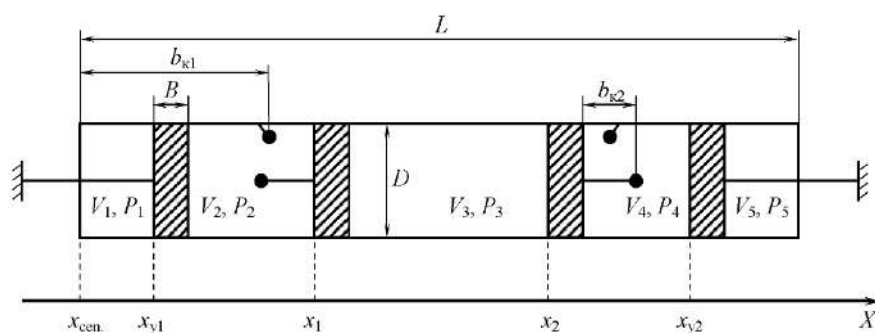
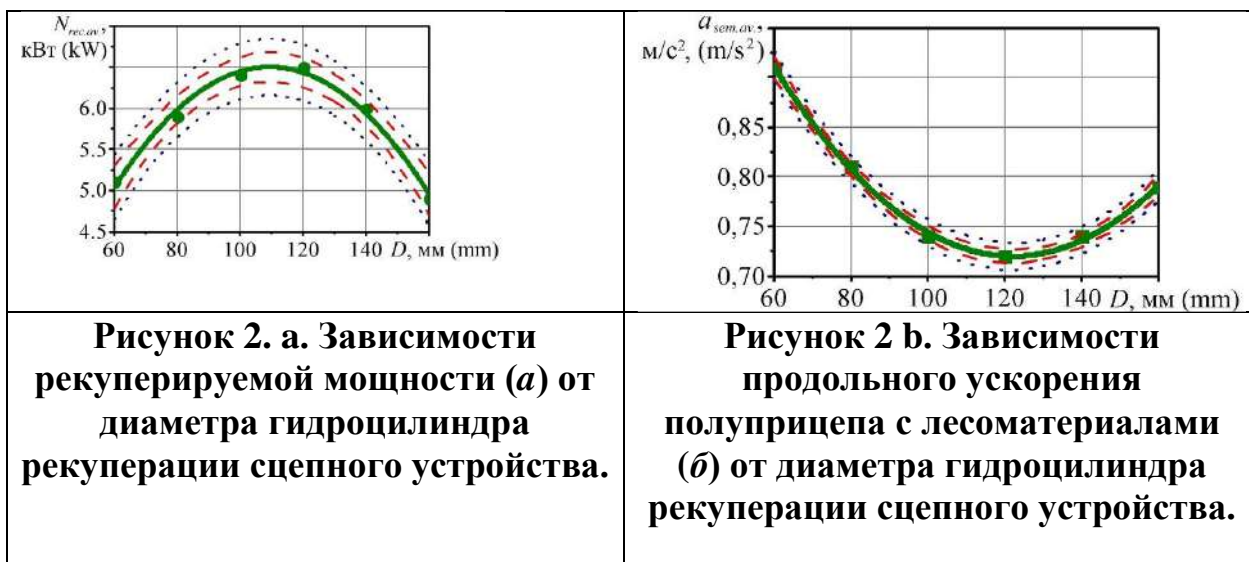


Рисунок 1. Расчетная схема пневмогидравлического седельно-сцепного устройства

Согласно расчетной схеме в предлагаемом устройстве выделены пять несвязных полостей. Координаты в пространстве определяется значениями x_{y1} , x_1 , x_2 , x_{y2} . Каждая полость связана с пневмогидравлическим аккумулятором. Для решения математической модели были созданы программы для моделирования кинематики лесной машины лесовозного автопоезда и моделирования работы энергосберегающего устройства. Получены зависимости рекуперированной мощности и продольного ускорения полуприцепа с лесоматериалами от диаметра гидроцилиндра рекуперации сцепного устройства. (Figure 2).



Установлено, что рекуперированная мощность составила 5,1–5,9 кВт (Figure 2 а), среднее ускорение полуприцепа- 0,8... 0,81 м/с² (Figure 2, б). В работе этих же авторов [2] в результате компьютерного моделирования установлено, что оптимального диаметра гидравлического цилиндра рекуперации сцепного устройства составил 100 ... 120 мм значение мощности, которая может быть рекуперирована, находится в диапазоне 6,4 ... 6,5 кВт, минимальное значение ускорения полуприцепа относительно тягача составило 0,72 ... 0,73 м/с².

В работе [3] предложено устройство для аккумулирования энергии торможения автомобиля КАМАЗ 5320, которое позволило добиться повышения топливной экономичности двигателя на (2–3%), уменьшения износа тормозной системы.

В статье [4] разработана методика выбора гидроаккумулятора из модельного ряда, согласно которой сначала определяют максимальное давление гидропривода, которое зависит от крутящего момента на валу гидромотора, затем определяют минимальное давление из условия отсутствия кавитации в насосе и элементах гидропривода, давление предварительной зарядки гидроаккумулятора, необходимый полезный объем рабочей жидкости и максимальный объем газа в аккумуляторе. Расчеты приведены для городских автобусов, режим работы которых характеризуется частыми остановками и торможениями, с учетом использования устройств накопления энергии с гидроаккумулятором. Общее время торможения и остановок будет определять время зарядки гидроаккумулятора и его полезный объем.

При эксплуатации лесных гидроманипулятора из-за высокой динамической нагруженности при низких температурах воздуха отказы рукавов высокого давления составляют 29,7–56%, а гидроцилиндров 14,0–24,1% [5]. Предложен новый метод диагностирования гидроцилиндров с учетом предельного значения логарифмического декремента затухания колебаний рабочей жидкости, который уменьшается при износе уплотнений до величины $\delta = 0,533$, при котором необходим ремонт гидроцилиндра.

Исследованиям повышения энергоэффективности большегрузных тягачей с полуприцепами, оборудованных седельно-сцепными устройствами посвящены ряд работ зарубежных авторов [6-10]. Проведены исследования кинематики движения тягача с полуприцепом, влияния показателей аэродинамических качеств автопоезда на снижение расхода топлива при транспортировании груза на дальние расстояния, установлены причины выхода из строя деталей седельно-сцепного устройства, а также способы повышения управляемости автопоездов при торможении с выходом из строя всей тормозной системы.

Для снижения энергозатрат при эксплуатации силовой установки нефтедобывающего комплекса [11] создана конструкция гибридного электрогидроцилиндра рекуперативного действия. Поступательное движение поршня гидроцилиндра под действием силы тяжести рабочего оборудования станка-качалки, за счет винтовой передачи, превращается во вращательное движение ротора электрогенератора, встроенного в гильзу гидроцилиндра. На основании математического моделирования получены амплитудно-фазовые характеристики давления рабочей жидкости для стандартного гидроцилиндра, кривая- 1 и электрогидроцилиндра, кривая -2 (Figure 3).

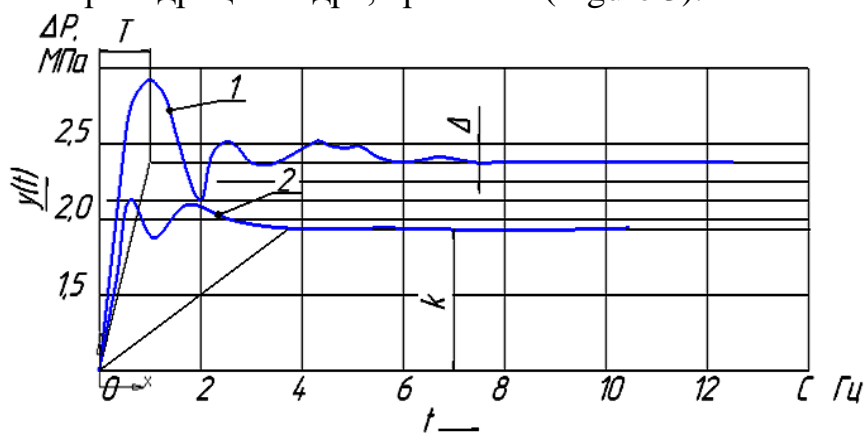


Рисунок 3. Переходные процессы давления рабочей жидкости в гидроприводе рабочего оборудования

Анализ графиков переходных процессов показывает, что при использовании стандартного гидроцилиндра переходный процесс длится около 6 с, а при использовании электрогидроцилиндра с рекуперацией энергии около 3 с, при этом эффективность силового привода повышается на 23 %.

В работах зарубежных авторов [12,13] проведены исследования применения электрогидростатического привода на гидравлических манипуляторах большой грузоподъемности. Предлагаемый электрогидростатический привод соответствует требованиям удержания нагрузки, предохранения от перегрузок и компенсации дифференциального потока. Проведено сравнение электрогидростатического привода с традиционным приводом с клапанным управлением, установлено повышение эффективности нового привода и возможности рекуперации энергии.

Для рекуперации потенциальной энергии одноковшового фронтального погрузчика Амкодор208В предлагается энергосберегающее устройство, включающее две пружины кручения, установленные между рамой и стрелой [14;15]. Выбор пружин произведен из условия, чтобы пружины кручения уравновешивали силу тяжести погрузочного оборудования без груза в ковше в нижнем положении стрелы. В результате исследования рабочего процесса погрузчика построена энергетическая характеристика системы (Figure 4). Зависимость момента подъема груза от угла подъема стрелы $M_{ПГ} = f(\varphi)$, изображена в виде кривой линии 2-3-4. Зависимость момента от пружин кручения от угла подъема стрелы $M_{ПР} = f(\varphi)$ представляет собой прямую линию 6-7. Площадь между точками 1-2-3-4-5 равна работе стреловых гидроцилиндров при подъеме погрузочного оборудования. Площадь, 1-6-7-5 равна полезной работе пружин кручения. Предлагаемое энергосберегающее устройство позволяет снизить энергозатраты на 26 %.

В работе [16] проведены исследования по экономии энергии в процессе эксплуатации гидравлического пресса с насосно-аккумуляторным источником питания. Использован метод математического моделирования на основе теории объемной жесткости гидравлических систем. Разработана программа расчёта математической модели трёхскоростного привода возвратно-поступательного движения гидравлического пресса привода на базе блока решений дифференциальных уравнений в среде SimInTech.

Приведены графики перемещения и скорости поршня гидроцилиндра (Figure 5), из которого видно, что при перемещении поршня начинается через 1,4 с момента включения насоса. В этот момент скорость поршня достигает величины 0,9 м/с, а затем выходит на уровень среднего значения 0,4 м/с.

Графики давления в различных точках гидравлической системы пресса приведены на рисунке (Рисунок 6).

При включении в работу гидронасоса давление рабочей жидкости на выходе гидронасоса (кривая 1) и на входе гидроаккумулятора (кривая 2) возрастают до величины 15 МПа за время 0,2с по мере зарядки гидроаккумулятора. При подключении в гидросистему автомата разгрузки насоса позволяет поднять КПД системы питания до 27 %.

Разработан стенд для ресурсных испытаний плунжерных гидроцилиндров с рекуперацией энергии, в котором один гидроцилиндр выполняет функцию гидродвигателя и воздействует на второй гидроцилиндр, выполняющего функцию гидронасоса, через передаточное звено в виде коромысла. [17]. Проведены исследования влияния различных конструктивных и функциональных параметров стенда на коэффициент эффективности (Рисунок 7).

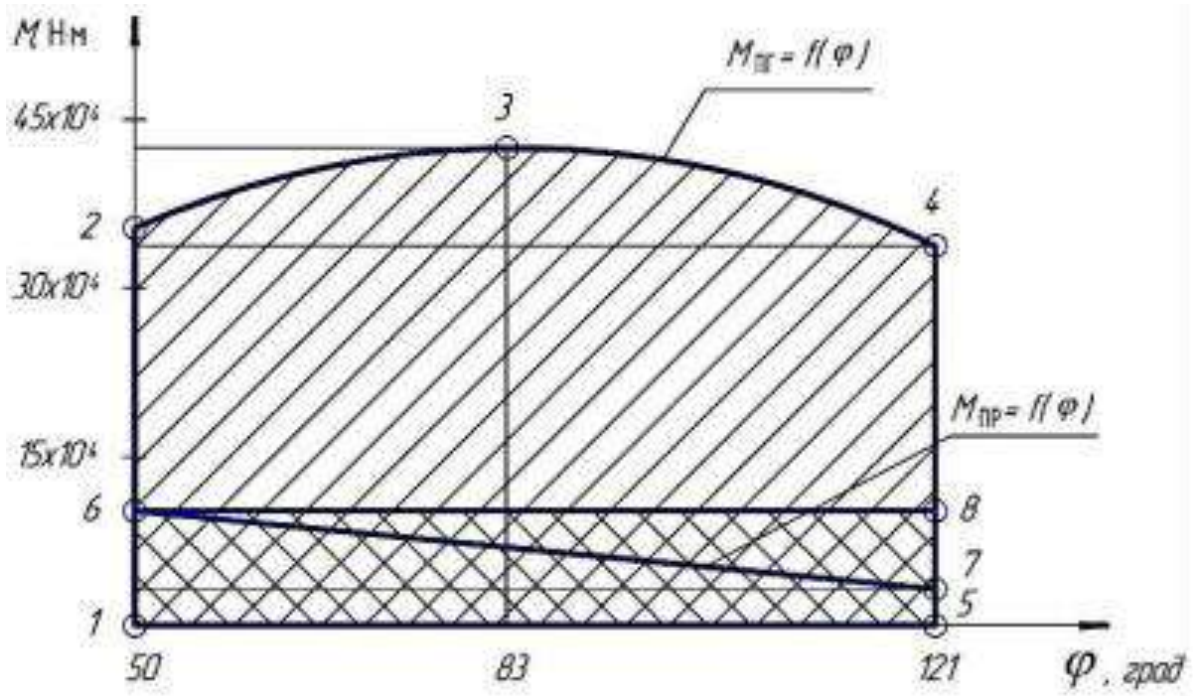


Рисунок 4. Энергетическая характеристика энергосберегающей системы погрузчика Амкодор208В

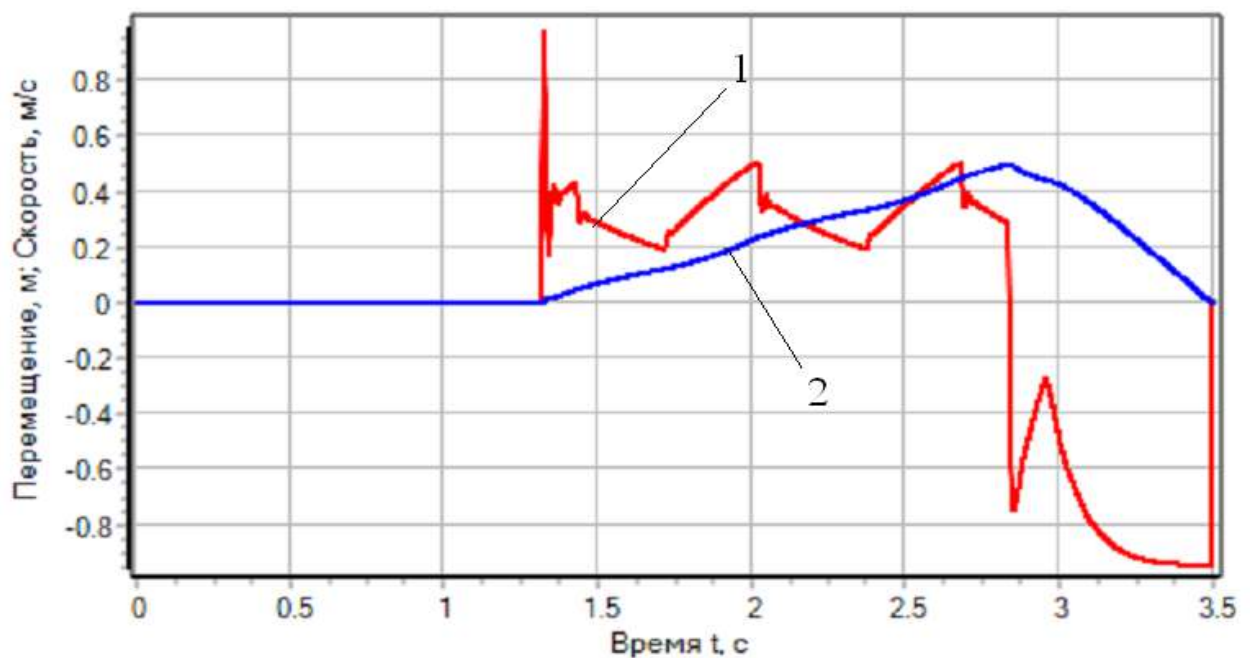


Рисунок 5. Изменение во времени параметров движения поршня гидравлического цилиндра:
1 – скорость движения; 2 – перемещение.

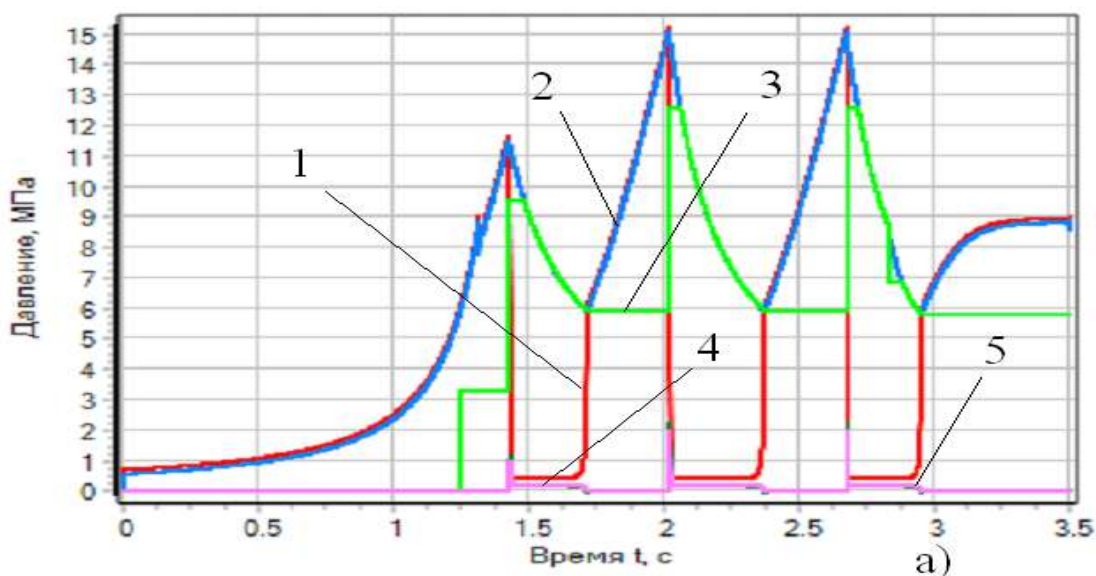


Рисунок 6. Изменение во времени давлений в различных точках гидравлической системы:

1 – выход гидравлического насоса; 2 – вход в гидроаккумулятор; 3 – рабочая камера автомата разгрузки; 4 – сливная камера автомата разгрузки; 5 – дренажная камера затвора разгрузочного клапана автомата разгрузки

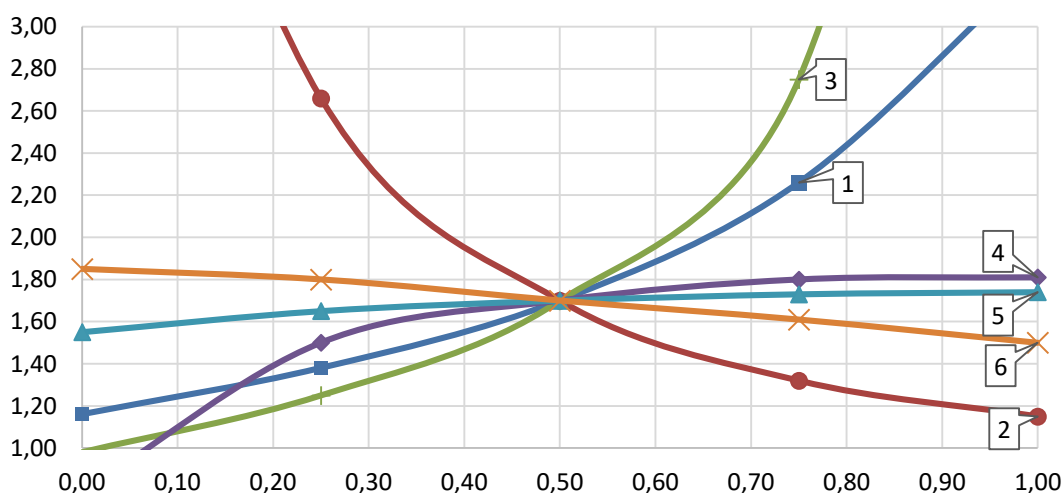


Рисунок 7. Зависимость коэффициента $k_{эф}$ эффективности от конструктивных параметров

Из рисунка (Figure 7) следует, что величина коэффициента эффективности в большей степени зависит от рабочего объёма гидромотора (кривая 1), рабочего объёма гидронасоса (кривая 2) и передаточного числа передачи с вала гидромотора на вал гидронасоса (кривая 3). Остальные параметры: передаточное число механизма (кривая 4); давление настройки клапана нагружения (кривая 5); угловая скорость вращения вала (кривая 6) влияют в незначительной степени. Поэтому при проектировании

гидромеханической системы стенда следует учитывать величины рабочего объема гидромотора и передаточного числа механизма.

Нами разработан и изготовлен лабораторный стенд с энергосберегающим гидроприводом механизма подъема стрелы манипулятора (Figure 8) [18]. Моделирование гидравлической системы стенда проводилось в соответствии с математической моделью, включающую уравнение движения стрелы и уравнение расходов жидкости с учетом гидроаккумулятора. Проведены лабораторные испытания механизма подъема стрелы с различными грузами с использованием тензометрических датчиков Д1 и Д2 типа ПД-100 и тензоплаборатории. ZETLAB ZET 058. Результаты проведенных лабораторных исследований энергосберегающего гидропривода, включающего гидроцилиндр рекуперации ГЦ2 и гидроаккумулятор ГА, подтвердили адекватность математической модели.

Установлено, что энергосберегающий гидропривод лабораторного стенда манипулятора запасает около 70% энергии опускания груза.

В статье [19] предлагается механизм поворота колонны манипулятора с энергосберегающим гидроприводом, который накапливает энергию при торможении колонны и отдает ее в момент пуска и разгона. Составлена математическая модель рабочего процесса, в которой гидравлическая система манипулятора представлена в виде отдельных полостей (рис. 9).

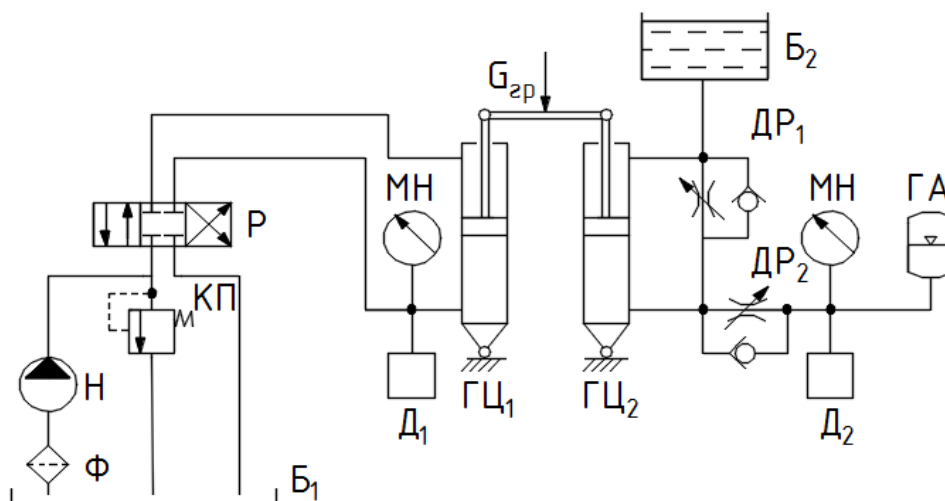


Рисунок 8. Гидрокинематическая схема лабораторного стенда манипулятора с рекуперацией энергии

Математическая модель включает дифференциальные уравнения вращательного движения колонны, расходов рабочей жидкости и рабочего процесса гидроаккумулятора. При проведении компьютерных и лабораторных экспериментов установлено, что энергосберегающий гидропривод колонны манипулятора позволяет сократить энергоемкость поворота колонны на 25 % и увеличить производительность манипулятора на 14 % за счет уменьшения амплитуды раскачивания груза.

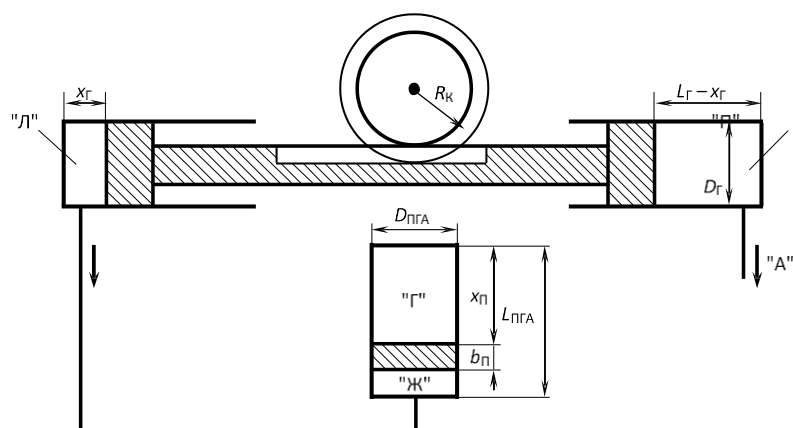


Рисунок 9. Расчетная схема энергосберегающего гидропривода механизма поворота колонны манипулятора

Для обеспечения рекуперации энергии колебаний трелеваемой пачки древесины бесчокерным трелевочным захватом в агрегате с колесным сельскохозяйственным трактором разработан энергосберегающий гидропривод [20]. Запасаемая энергия гидроаккумулятора в пределах 1,7 ... 2,1 кВт используется на поджим пачки лесоматериалов челюстями захвата, что исключает потери отдельных сортиментов в процессе трелевки. Результаты исследования рабочего процесса трелевочного захвата с энергосберегающим гидроприводом могут быть использованы при проектировании захватных устройств манипуляторов лесотранспортных машин для оценки энергозатрат режимов подтаскивания сортиментов при выполнении погрузочно-разгрузочных работ.

3. Обсуждение и заключение

На основе анализа проведённых исследований рабочих процессов энергосберегающих гидроприводов и устройств технологических машин и оборудования установлено, что самым высоконагруженными являются грузоподъемные механизмы гидроманипуляторов лесотранспортных машин, однако исследований по снижению динамической нагруженности и энергоемкости проведено, на наш взгляд, недостаточно. Поэтому можно сделать выводы, что для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать новую схему энергосберегающего гидропривода механизма подъема стрелы манипулятора лесотранспортной машины;
2. Разработать математическую модель погрузочно-разгрузочных работ стрелы манипулятора с энергосберегающим гидроприводом;
3. Выявить закономерности работы энергосберегающего устройства грузоподъемного механизма лесного манипулятора;
4. Обосновать параметры энергосберегающего гидропривода манипулятора для достижения минимальных энергетических затрат;
5. Определить ожидаемый экономический эффект от применения на гидроманипуляторах энергосберегающих демпфирующих устройств.

Список литературы

1. Посметьев В.И., Никонов В.О., Мануковский А.Ю., Посметьев В.В. 2022 Компьютерное моделирование работы рекуперативного поворотного коникового устройства лесовозного тягача с прицепом-ропуском // *Изв. вузов. Лесн. журн.* № 5. С. 85–99.
2. Посметьев В. И., Зеликов В. А., Никонов В. О., Посметьев В. В., Чуйков А. С., Авдюхин А. В. 2022 Влияние режимов движения лесовозного автопоезда при вывозке лесоматериалов на эффективность рекуперации энергии в пневмогидравлическом седельно-сцепном устройстве // *Лесотехнический журнал.* –Т. 12. – № 4 (48). – С. 114–129. – Библиогр.: с. 125–128.
3. Поливаев О.И., Янин А.Н., Кривцов В.А., Викулин С.В. 2021 Повышение эксплуатационных свойств автомобиля Камаз 5320 за счет аккумулирования энергии торможения. // *Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Том Часть II.* Воронеж Издательство: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I (Воронеж), С. 368-372.
4. Ворожцов О.В. 2022 Гидропривод рекуперации энергии транспортного средства.
В сборнике: *Математическое моделирование систем и процессов. Материалы международной научно-практической конференции.* Псковский государственный университет. Псков, С. 57-62.
5. Piskunov M. 2021 Investigation of Structure of Technology Cycle Time of Hydraulic Manipulators in the Process of Loading Forwarders with Logs // *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering.* – Т. 42. – №. 3. – С. 391-403. <https://doi.org/10.5552/crojfe.863>.
6. Guang Xia, Mingzhuo Zhao, Xiwen Tang, Shaojie Wang, Linfeng Zhao 2020 Linear reversing control of semi-trailer trains based on hitch angle stable and feasible domain // *Control Engineering Practice* 104 104625. DOI: 10.1016/j.conengprac..104625.
7. Anil K. Madhusudhanan, Daniel Ainalis, Xiaoxiang Na (et al.) 2021 Effects of semi-trailer modifications on HGV fuel consumption // *Transportation Research Part D92.* 102717. DOI: 10.1016/j.trd.2021.102717.
8. Qing Zhang, Shuo Wei, Youming Chen 2020 Failure analysis of the fifth wheel couplings utilized in heavy semi-trailer tractors // *Engineering Failure Analysis* 109 (2020) 104352. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.104352.
9. Zhileykin M., Skotnikov G. 2020 The method of increasing the stability of trailer-trucks in case of emergency braking in a turn and emergency failure of the trailer brake system. // *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering* 820 (2020): 012017. DOI 10.1088/1757-899X/820/1/012017.
10. Zdravko Pandur, Hrvoje Nevečerel, Marijan Šušnjar, Marin Bačić, Kruno Lepoglavec 2021 Energy Efficiency of Timber Transport by Trucks on Hilly and

- Moun-tainous Forest Roads // *Forestist*, August 27. – Bibliogr.: pp. 9-10. (31 titles). – DOI 10.5152/for-estist.2021.21012.
11. Савинкин В.В. 2021 Исследование эффективности перераспределения мощности силового привода нефтедобывающего комплекса // *Известия Томского политехнического университета.Инжиниринг георесурсов*. Т. 332. № 2. 229–244.
 12. Jensen K. J., Ebbesen M. K., Hansen M. R. 2021 Novel Concept for Electro-Hydrostatic Actuators for Motion Control of Hydraulic Manipulators // *Energies*. – Т. 14. – №. 20. – С. 6566. <https://doi.org/10.3390/en14206566>.
 13. Jensen K. J., Ebbesen M. K., Hansen M. R., 2021, Anti-swing control of a hydraulic loader crane with a hanging load // *Mechatronics*. – Т. 77. – С. 102599. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2021.102599>.
 14. Смирнов А.Н., Авраменко П.В. 2020 Рекомендации по повышению энергоэффективности одноковшовых фронтальных погрузчиков при эксплуатации / *Минск, БГАТУ*, – 76 с.
 15. Смирнов А.Н., Авраменко П.В., 2021, Научно-технические основы проектирования фронтальных погрузчиков: монография. – *Минск БГАТУ* – 172 с.
 16. Вялов С.А., Рыбак А.Т., Цыбрий И.К., Пелипенко А.Ю. 2021 Трехскоростной гидромеханический привод возвратно-поступательного движения с рекуперацией энергии / *Журнал «Сборка в машиностроении, приборостроении» №9*, С. 397-401.
 17. Pelipenko A., Rybak, A., Sarkisian, D., Saakian, S., Zhyravlyova, 2022, A Stand for Life Tests of Plunger Hydraulic Cylinders // *Modeling and Calculation Lecture Notes in Networks and Systems* this link is disabled, 2022, 246, стр. 198–206.
 18. Попиков П.И., Конюхов А.В. 2022 Стенд для испытаний грузоподъемных механизмов лесных манипуляторов с рекуперацией энергии. В сборнике: *Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции*. Воронеж, С. 105-110.
 19. Попиков П.И., Хоменко К.Г. 2022 Совершенствование механизмов поворота опорно-поворотных устройств лесных машин манипуляторного типа/ В научно-электронном журнале *«Инновации. Наука. Образование.» номер 71*, с. 47-58.
 20. Четверикова И.В., Зимарин С.В., Бурдыкин А.В. 2021 К вопросу совершенствования гидропривода бесчokerного трелевочного захвата // В сборнике: *Повышение эффективности лесного комплекса*. Материалы седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, С. 197-199.

References

1. Posmetyev V.I., Nikonov V.O., Manukovsky A.Yu., Posmetyev V.V. 2022 Computer simulation of the operation of a regenerative rotary conical device of

- a logging tractor with a trailer-dissolution // *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* No. 5. pp. 85-99.
2. Posmetyev V. I., Zelikov V. A., Nikonov V. O., Posmetyev V. V., Chuikov A. S., Avdyukhin A.V. 2022 The influence of the modes of movement of a logging road train during the removal of timber on the efficiency of energy recovery in a pneumohydraulic coupling device // *Forestry Journal*. –Vol. 12. – No. 4 (48). – pp. 114-129. – Bibliogr.: pp. 125-128.
 3. Polivaev O.I., Yanin A.N., Krivtsov V.A., Vikulin S.V. 2021 Improving the performance properties of the Kamaz 5320 car due to the accumulation of braking energy. // *Energy efficiency and energy saving in modern production and society. Materials of the international scientific and practical conference. Volume Part II*. Voronezh Publishing House: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I (Voronezh), pp. 368-372.
 4. Vorozhtsov O.V. 2022 Hydraulic drive of vehicle energy recovery. In the collection: *Mathematical modeling of systems and processes. Materials of the international scientific and practical conference*. Pskov State University. Pskov, pp. 57-62.
 5. Piskunov M. 2021 Investigation of Structure of Technology Cycle Time of Hydraulic Manipulators in the Process of Loading Forwarders with Logs // *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*. – T. 42. – №. 3. – C. 391-403. <https://doi.org/10.5552/crojfe.863>.
 6. Guang Xia, Mingzhuo Zhao, Xiwen Tang, Shaojie Wang, Linfeng Zhao 2020 Linear reversing control of semi-trailer trains based on hitch angle stable and feasible domain // *Control Engineering Practice* 104 104625. DOI: 10.1016/j.conengprac..104625.
 7. Anil K. Madhusudhanan, Daniel Ainalis, Xiaoxiang Na (et al.) 2021 Effects of semi-trailer modifications on HGV fuel consumption // *Transportation Research Part D92*. 102717. DOI: 10.1016/j.trd.2021.102717.
 8. Qing Zhang, Shuo Wei, Youming Chen 2020 Failure analysis of the fifth wheel couplings utilized in heavy semi-trailer tractors // *Engineering Failure Analysis* 109 (2020) 104352. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.104352.
 9. Zhileykin M., Skotnikov G. 2020 The method of increasing the stability of trailer-trucks in case of emergency braking in a turn and emergency failure of the trailer brake system. /*IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering* 820 (2020): 012017. DOI 10.1088/1757-899X/820/1/012017.
 10. Zdravko Pandur, Hrvoje Nevečerel, Marijan Šušnjar, Marin Bačić, Krno Lepoglavec 2021 Energy Efficiency of Timber Transport by Trucks on Hilly and Mountainous Forest Roads // *Forestist*, August 27. – Bibliogr.: pp. 9-10. (31 titles). – DOI 10.5152/for-estist.2021.21012.
 11. Savinkin V.V. 2021 Study of the efficiency of power redistribution of the power drive of the oil-producing complex // *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering*. Vol. 332. No. 2. 229-244.

12. Jensen K. J., Ebbesen M. K., Hansen M. R. 2021 Novel Concept for Electro-Hydrostatic Actuators for Motion Control of Hydraulic Manipulators // *Energies*. – T. 14. – №. 20. – C. 6566. <https://doi.org/10.3390/en14206566>.
13. Jensen K. J., Ebbesen M. K., Hansen M. R., 2021, Anti-swing control of a hydraulic loader crane with a hanging load // *Mechatronics*. – T. 77. – C. 102599. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2021.102599>.
14. Smirnov A.N., Avramenko P.V. 2020 Recommendations for improving the energy efficiency of single-bucket front loaders during operation / Minsk, BGATU, - 76 p.
15. Smirnov A.N., Avramenko P.V., 2021, Scientific and technical fundamentals of front-end loader design: monograph. – Minsk BGATU – 172 p .
16. Vyalov S.A., Rybak A.T., Tsybri I.K., Pelipenko A.Yu. 2021 Three-speed hydromechanical reciprocating drive with energy recovery / *Journal "Assembly in mechanical engineering, instrumentation"* No. 9, pp. 397-401.
17. Pelipenko A., Rybak, A., Sarkisian, D., Saakian, S., Zhyravlyova, A. 2022. Stand for Life Tests of Plunger Hydraulic Cylinders // *Modeling and Calculation. Lecture Notes in Networks and Systems* this link is disabled, 2022, 246, стр. 198–206.
18. Popikov P.I., Konyukhov A.V. 2022 Test bench for lifting mechanisms of forest manipulators with energy recovery. In the collection: *Energy efficiency and energy conservation in modern production and society. Materials of the international scientific and practical conference. Voronezh*, pp. 105-110.
19. Popikov P.I., Khomenko K.G. 2022 Improvement of rotation mechanisms of support and rotary devices of manipulator-type forest machines/ In the scientific electronic journal "*Innovations. The science. Education.*" number 71, pp. 47-58.
20. Chetverikova I.V., Zimarin S.V., Burdykin A.V. 2021 On the issue of improving the hydraulic drive of the lockless skidding grip // In the collection: *Improving the efficiency of the forest complex. Materials of the seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk*, pp. 197-199.

**Оценка работы традиционных тягово-сцепных устройств
лесовозных автопоездов на основе анализа нагрузочных
режимов их работы**

Аннотация. Показаны состояние и целесообразность совершенствования традиционных конструкций тягово-сцепных устройств лесовозных автопоездов, функционирующих в условиях недостаточно обустроенных лесовозных дорог. Рассмотрены преимущества и недостатки использования в традиционных конструкциях тягово-сцепных устройств упругих элементов в виде металлических пружин и резиновых буферов. Приведено математическое описание взаимодействия лесовозного тягача с прицепом в процессе разгона автопоезда. Представлены зависимости влияния различных факторов на изменение усилий в тягово-сцепном устройстве лесовозного автопоезда. Предложено направление исследования, способствующее повышению эффективности работы лесовозных тягачей с прицепами.

Ключевые слова: лесовозный тягач, упругий элемент, нагрузка на крюке, прицеп, динамическое взаимодействие звеньев, тягово-сцепное устройство, производительность, продольные колебания, лесовозная дорога, режимы движения автопоезда.

Posmetyev V.I., Nikonov V.O.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

**Evaluation of the operation of traditional hitching devices of timber road
trains on the basis of the analysis of their load modes of their operation**

Abstract. The state and expediency of improving the traditional designs of traction-coupling devices of logging road trains operating in conditions of insufficiently equipped logging roads are shown. The advantages and disadvantages of using elastic elements in the form of metal springs and rubber buffers in traditional designs of towing devices are considered. A mathematical description of the interaction of a timber tractor with a trailer during the acceleration of a road train is given. The dependences of the influence of various factors on the change in forces in the traction-coupling device of a

timber road train are presented. A direction of research has been proposed that contributes to improving the efficiency of timber tractors with trailers.

Key words: timber tractor, elastic element, hook load, trailer, dynamic interaction of links, towing device, performance, longitudinal vibrations, logging road, road train driving modes.

За последнее время роль автопоездов и доля их в общем грузообороте страны значительно возросли, увеличился парк прицепов (П) и полуприцепов. Важной особенностью конструкций лесовозных автопоездов (ЛА), состоящих из лесовозных тягачей (ЛТ) и П, является наличие тягово-сцепных устройств (ТСУ). Во время движения ЛА по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам (ЛД) возникают продольные колебания ЛТ и П, которые приводят к снижению надежности ЛА, повышенной утомляемости водителя, снижению скорости движения и, как следствие, уменьшению производительности ЛА. При этом проявляющиеся между звеньями ЛА знакопеременные нагрузки, в неблагоприятных случаях вызывают повышенный износ и нарушение нормальной работы узлов ЛТ и П. Совершенствование конструкций ТСУ является одним из условий повышения эксплуатационных показателей работы ЛА. Управляя особенностями динамического взаимодействия звеньев ЛА, можно во многом обеспечить благоприятные условия труда водителя, улучшить эффективность работы ЛА, а также снизить износы в ТСУ [1-4].

Для снижения усилий динамического взаимодействия между звеньями ЛА при его движении в сложных дорожных условиях в ТСУ применяют упругие элементы (УЭ), которые исключают возникновение ударов между ЛТ и П в моменты резкого трогания, торможения и интенсивного разгона ЛА, а также способствуют более плавной передаче усилия между ними. В то же время наличие УЭ приводит к возникновению продольных относительных колебаний звеньев ЛА. Во время движения по недостаточно обустроенным ЛД, ЛА встречает каждую неровность колесами, расположенными до и после ТСУ. В результате динамического взаимодействия ЛТ и П УЭ воспринимает как растягивающие, так и сжимающие усилия. При определенных сочетаниях частоты и амплитуды возмущающего воздействия, возможна продольная раскачка и рывки звеньев ЛА, а также резонансные явления, которые в свою очередь оказывают неблагоприятное воздействие на водителя. Для уменьшения воздействия этих продольных колебаний, водитель вынужден ограничивать скорость движения ЛТ с П. Однако, такой способ вождения, существенно отражается на производительности ЛА. Поэтому способность обеспечивать оптимальный режим воздействия продольных колебаний на водителя, является важнейшей характеристикой УЭ. Неправильный выбор параметров УЭ ТСУ способствует возникновению значительных нагрузок, которые преждевременно расшатывают рамы ЛТ и П, вызывают поломки ТСУ, деформацию и поломки дышла [5].

Конструкции УЭ ТСУ постоянно совершенствуются. В традиционных конструкциях ТСУ российского производства ранее был распространен УЭ в

виде витой металлической пружины. Характерной особенностью такого УЭ является значительное предварительное поджатие пружин и наличие больших зазоров в соединении. Установка пружин с поджатием обеспечивала небольшие по величине колебания и предотвращение их развития. Однако, при больших продольных зазорах, вызывающих периодический разрыв силовой связи между ЛТ и П, наличие порога на характеристике приводит к тому, что в пределах поджатия УЭ нагрузки не амортизируются и передаются на ЛТ и П жестко. При установке в ТСУ металлической пружины наблюдается продольное раскачивание звеньев ЛА и их взаимное соударение, что оказывает неблагоприятное воздействие на водителя. Величина зазоров в ТСУ складывается из первоначальных технологических зазоров и зазоров, появляющихся в эксплуатации вследствие износов пары крюк-петля. Наличие таких зазоров вызывает ударные нагрузки, приводящие не только к быстрому износу и поломкам деталей самого ТСУ, но и к повышенным износам и выходу из строя ходовой части ЛА. В этой связи, многие работы в настоящее время, связанные с усовершенствованием ТСУ направлены на уменьшение зазоров, ускорение операции по сцепке-расцепке ЛТ с П, обеспечение безопасности для обслуживающего персонала, улучшение эксплуатационных свойств УЭ, а также увеличение срока службы ТСУ за счет повышения их износостойкости путем введения более строгих допусков на изготовление, применение термообработки и т.д. [5].

Кроме этого, на ЛА устанавливались ТСУ, особенностью которых являлось наличие в конструкции резинового УЭ. При использовании таких УЭ не наблюдалось в отличие от металлической пружины резких рывков и ударов при движении ЛТ с П по недостаточно обустроенным ЛД. В связи с этим, водитель переносит продольные колебания лучше, чем при установке металлической пружины, даже несмотря на некоторое увеличение нагрузок в ТСУ. Плавное нарастание нагрузок при установке резиновых УЭ делает условия работы водителя ЛА более комфортабельными, что позволяет ему выбирать большие скорости движения. Буксирные крюки ТСУ с резиновыми УЭ имеют меньший износ, чем при установке металлической пружины. Резиновый УЭ проще, дешевле других типов УЭ и по своим свойствам наиболее полно соответствует условиям работы в ТСУ. Его наличие в ТСУ способствует затуханию и уменьшению интенсивности колебаний. За счет сил внутреннего трения в резиновом УЭ рассеивается до 30-50 % поглощенной энергии. Также, относительно большие деформации при незначительных нагрузках создают предпосылки для облегчения условий работы сцепления в момент трогания ЛА с места.

Используются также более сложные по конструкции ТСУ, оснащенные пружинными и резиновыми (полиуретановыми) амортизаторами, обладающие большей эффективностью противостоять динамическим нагрузкам. Кроме этого, в традиционных конструкциях ТСУ отсутствуют большие зазоры, они оснащаются комбинированными УЭ (спиральная и кольцевая пружины), обладающими нелинейными характеристиками. Преимущество комбинированного УЭ заключается в его переменной жесткости – меньшей при трогании ЛТ с П, когда работает только спиральная пружина, и большей – при значительных нагрузках,

когда работают обе пружины одновременно. К недостаткам таких ТСУ следует отнести усложнение конструкции, а также возможность появления раскачивания звеньев ЛА при нагрузках [5]. Федоров Б.П. в своей научной работе исследовал взаимодействие звеньев ЛА при разгоне на различных передачах в условиях недостаточно обустроенных ЛД. Учитывая сложность математического описания динамического взаимодействия ЛТ и П теоретическое исследование процесса разгона ЛА было проведено на основе рассмотрения только безззорной сцепки. Расчетная схема ЛТ с П приведена на рисунке 1 [6].

Процесс разгона ЛТ с П до максимальной (заданной скорости) в данной работе рассматривается по следующим этапам: первый – промежуток времени от момента окончания буксования сцепления при включении очередной передачи до начала следующего переключения; второй – время переключения передач с момента выключения сцепления до включения очередной передачи; третий – буксование сцепления с момента включения до уравнивания скоростей коленчатого вала и ведущего вала коробки передач.

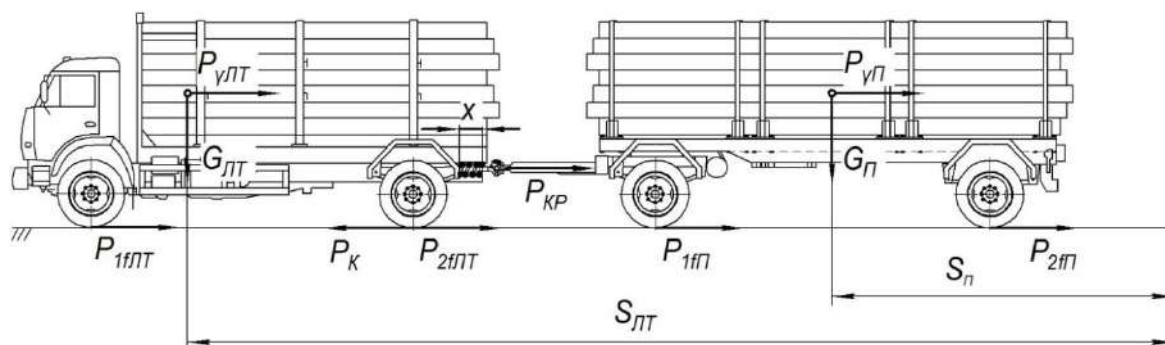


Рисунок 1. Расчетная схема ЛТ с П

Дифференциальные уравнения, описывающие движения ЛТ с П имеют следующий вид:

$$M_{лТ} \frac{d^2 S_{лТ}}{dt^2} = Kt - Cx - h \frac{dx}{dt} - G_{лТ} f_{лТ};$$

$$M_{п} \frac{d^2 S_{п}}{dt^2} = Cx + h \frac{dx}{dt} - G_{п} f_{п},$$
(1)

где $M_{лТ}$, $M_{п}$ – соответственно массы ЛТ и П; $S_{лТ}$, $S_{п}$ – соответственно путь ЛТ и П; $G_{лТ}$, $G_{п}$ – вес звеньев ЛА; $f_{лТ}$, $f_{п}$ – коэффициенты сопротивления качению ЛТ и П; K – темп нарастания тягового усилия на ведущих колесах ЛТ; x – деформация УЭ (относительное перемещение звеньев ЛА); C – коэффициент жесткости УЭ.

Преобразуя приведенные уравнения, получают дифференциальное уравнение относительного движения звеньев ЛА при разгоне в общем виде:

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \beta^2 x = P_k(t) \frac{1}{M_{лТ}},$$
(2)

где δ – коэффициент затухания, $\delta = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{M_{ЛТ}} + \frac{1}{M_{П}} \right) h$; β – круговая частота собственных колебаний системы, $\beta^2 = \left(\frac{1}{M_{ЛТ}} + \frac{1}{M_{П}} \right) C$; $\beta_1 = \sqrt{\beta^2 - \delta^2}$; β_1 – круговая частота с учетом затухания; $P_k(t)$ – тяговое усилие на ведущих колесах ЛТ (в первый период $P_k(t) = Const = P_k$, во второй – $P_k(t) = 0$, в третий – $P_k(t) = Kt$).

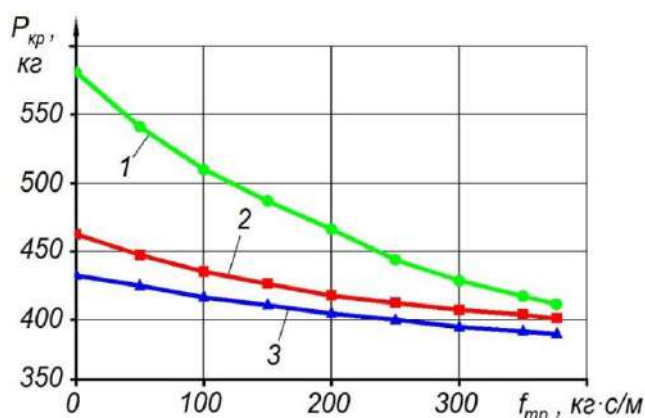
В результате решения этого уравнения определяются параметры относительного движения звеньев ЛА при разгоне.

Усилие в ТСУ рассчитывается по следующей зависимости:

$$P_{кр.} = \frac{M_{П}}{M_{ЛТ} + M_{П}} P_k(t) - \frac{K \cdot h}{\beta^2 \cdot M_{ЛТ}} + D \cdot C \cdot e^{-\delta t} \cos(\beta_1 t - \alpha), \quad (3)$$

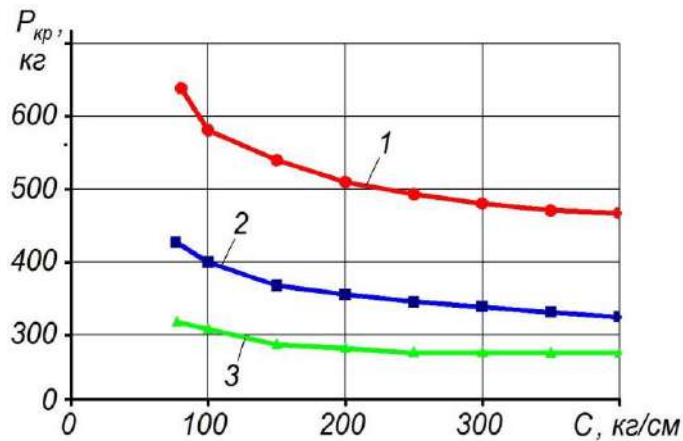
где D – амплитуда смещения звеньев; α – начальная фаза [6].

На рисунке 2 и 3 приведены зависимости изменения нагрузок на крюке от коэффициента трения в ТСУ и жесткости УЭ соответственно. При переключении передач больший коэффициент трения в ТСУ способствует интенсивному гашению колебаний, однако слишком большое сопротивление приводит в той или иной степени к увеличению жесткости. Уменьшение жесткости способствует возникновению в УЭ дополнительного сопротивления движению ЛА от продольных колебаний П, однако величина нагрузок при этом меньше, чем в ТСУ без УЭ (жесткой сцепке). Большая жесткость вызывает ударное приложение нагрузок между звеньями ЛА, что может оказывать влияние на усталостную прочность деталей ТСУ. При более мягкой сцепке, несмотря на некоторое увеличение амплитуды усилия, темп его нарастания меньше, чем у жестких связей.



1 – $c = 30 \text{ кг/см}$; 2 – $c = 30 \text{ кг/см}$; 3 – $c = 30 \text{ кг/см}$

Рисунок 2. Зависимость изменения усилий на крюке ТСУ от коэффициента трения $f_{тр}$



1, 2, 3 – усилие на крюке на первой, второй и третьей передачах

Рисунок 3. Зависимость изменения усилий на крюке ТСУ от жесткости c упругой связи

Кроме этого, исследователями установлена зависимость между максимальной нагрузкой в ТСУ и соотношением масс П и ЛТ (Рисунок 4). Темп включения сцепления оказывает существенное влияние на величину нагрузок между звеньями ЛА. При повышении скорости включения сцепления в 5 раз, усилие в ТСУ увеличивается в 2,5 раза [6].

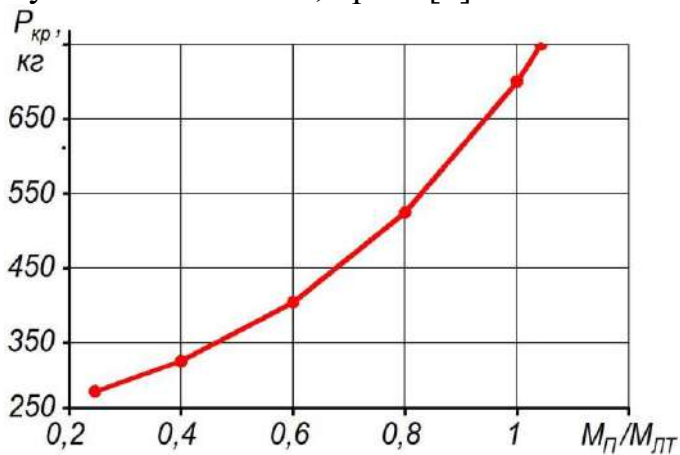
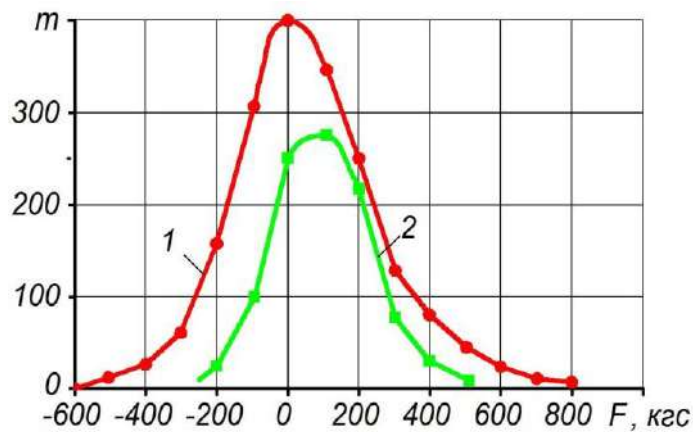


Рисунок 4. Зависимость изменения усилий $P_{кр}$ на крюке ТСУ от соотношения масс П и ЛТ

На нагрузочный режим ТСУ традиционной конструкции большое влияние оказывает уровень обустроенности ЛД (Рисунок 5). Ухудшение покрытия ЛД, помимо увеличения амплитуды усилия, приводит также к росту частоты колебаний усилия. При движении ЛТ с П по обустроенной ЛД со скоростью $V = 20$ км/ч (шкворневое ТСУ с резиновым УЭ) усилие составляло 462 кгс при частоте 1,7 герца, в при движении по необустроенной ЛД с той же скоростью эта нагрузка возросла до 831 кгс. При этом частота колебаний увеличилась до 2,7 герца.

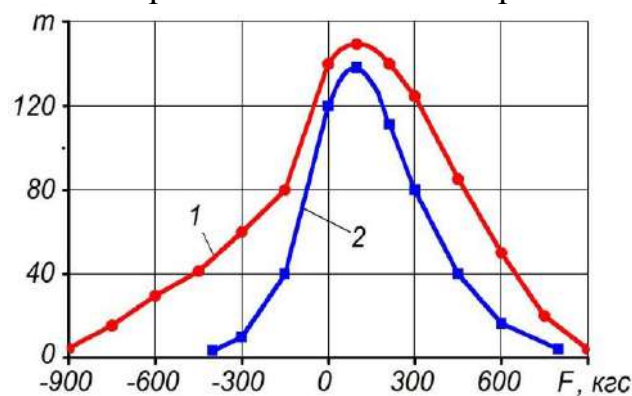


1, 2 – необустроенная и обустроенная ЛД

Рисунок 5. Зависимости изменения нагрузочного режима шкворневого ТСУ с резиновым УЭ от движения ЛТ с П по ЛД различного уровня обустроенности

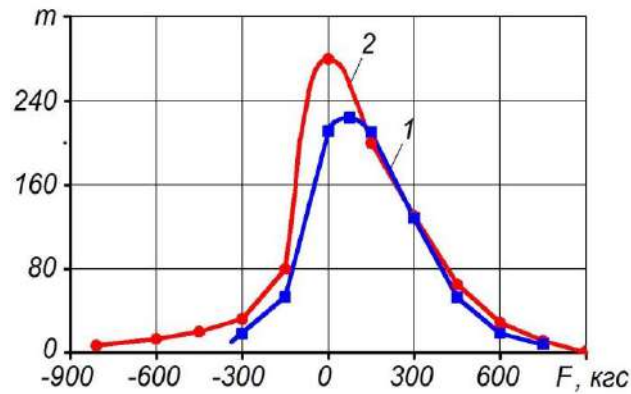
Кривые распределения продольных усилий в крюковых ТСУ с резиновым УЭ и металлической пружиной при движении ЛТ с П по обустроенным и необустроенным ЛД приведены на рисунках 6 и 7. При движении по необустроенной ЛД нагрузочный режим в крюковом ТСУ с металлической пружиной несколько выше, чем в ТСУ с резиновым УЭ.

Существенное влияние на нагрузки в ТСУ оказывает скорость движения ЛА с П. С увеличением скоростей движения нагрузки в ТСУ значительно увеличиваются (Рисунок 8). Практически можно считать, что амплитудные значения нагрузок возрастают пропорционально увеличению скорости движения. Максимальные значения продольных усилий при трогании ЛА для ТСУ составили 1200-1500 кгс. При переезде единичных неровностей амплитуды максимальных вертикальных и горизонтальных усилий возрастают с увеличением зазора в ТСУ и высоты неровностей ЛД.



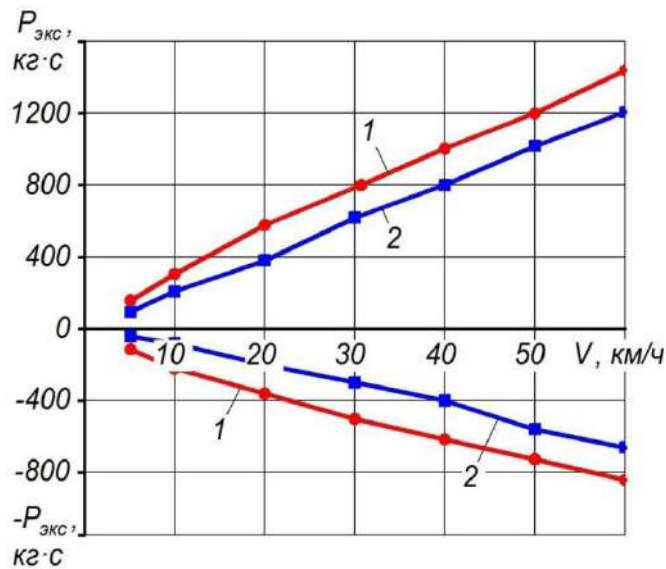
1 – ТСУ с резиновым УЭ; 2 – ТСУ с металлической пружиной

Рисунок 6. Зависимости изменения продольных усилий в ТСУ при движении ЛТ с П по обустроенной ЛД



1 – ТСУ с резиновым УЭ; 2 – ТСУ с металлической пружиной

Рисунок 7. Зависимости изменения продольных усилий в ТСУ при движении ЛТ с П по необустроенной ЛД

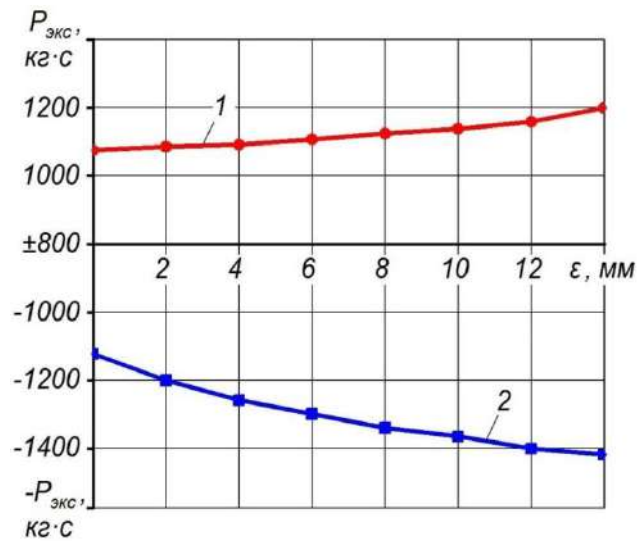


1 – ТСУ с резиновым УЭ; 2 – ТСУ с металлической пружиной

Рисунок 8. Зависимости изменения нагрузок в ТСУ от скорости движения ЛТ с П по обустроенной ЛД

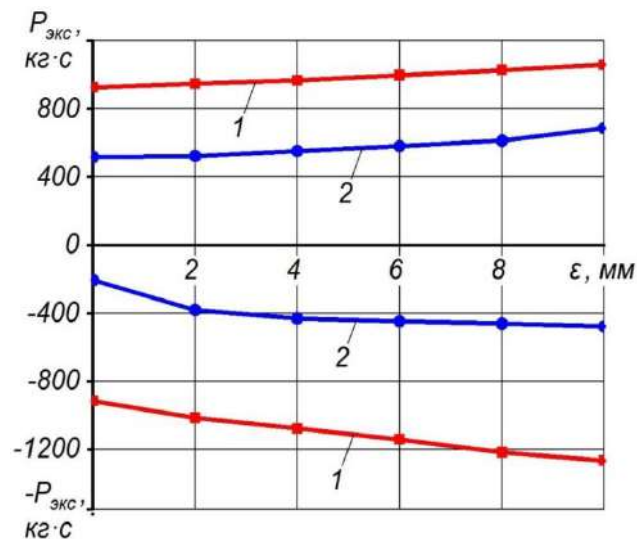
Максимальные продольные усилия в ТСУ, полученные при переезде ЛА единичной неровности высотой 80 мм со скоростью 15-20 км/ч по абсолютной величине близки к усилиям, возникающим при трогании и торможении ЛТ с П (Рисунок 9, 10). Изменение в шкворневом ТСУ с резиновым УЭ зазора от 0 до 14 мм не вызывает значительного роста усилий. Значения максимальных усилий ле- жат в пределах 1080-1200 кгс (Рисунок 9). Максимальные продольные усилия при резком торможении ЛТ с П со скоростью 40 км/ч на обустроенной ЛД достигают значительной величины. Изменение зазора от 0 до 14 мм увеличило усилия с 1112 кгс до 1408 кгс (Рисунок 9). Единичная неровность вызывает значительные нагрузки в ТСУ. Увеличение зазора от 0 до 10 мм при высоте неровности 80 мм привело к росту максимальных усилий (растяжения) на 200 кгс и сжатия на 300 кгс (Рисунок 10). Величины

максимальных продольных усилий при резом торможении ЛТ с П со скоростью 40 км/ч на обустроенной ЛД для ТСУ составляли 1200-1680 кгс. Продольные усилия при торможении ЛТ с П в меньшей степени зависят от состояния ЛД, чем при движении.



1, 2 – режимы трогания и торможения ЛТ с П

Рисунок 9. Зависимости изменения продольного усилия в шкворневом ТСУ с резиновым УЭ от величины зазора



1 – высота единичной неровности ЛД – 30 мм;
2 – высота единичной неровности ЛД – 80 мм

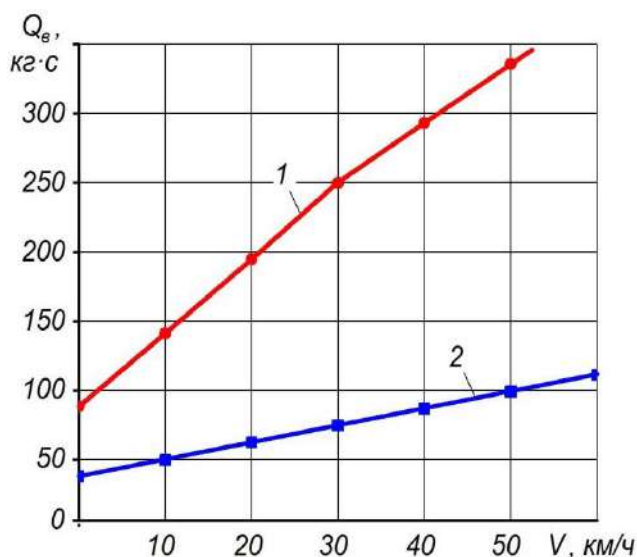
Рисунок 10. Зависимости изменения продольного усилия в шкворневом ТСУ с резиновым УЭ от высоты преодолеваемой единичной неровности

Решающим фактором является согласованность действия тормозов ЛТ и П, а также время срабатывания привода тормозов. При торможении ЛА максимальное усилие примерно такое же, как и при движении, а иногда и

меньше. При трогании ЛА с места усилия выше, чем при движении. Величина вертикальных усилий незначительна.

Максимальные усилия при движении ЛТ с П по обустроенным ЛД с различными скоростями для крюкового ТСУ с металлической пружиной составляли от 120 до 850 кгс и шкворневого ТСУ с резиновым УЭ – от 30-150 кгс (Рисунок 11).

С увеличением зазора в ТСУ нагрузки также возрастают. С ухудшением уровня обустроенности ЛД усилия в ТСУ увеличиваются. Изменение коэффициента сопротивления от 0,02 до 0,1 увеличило нагрузки в 1,87 раза. Режим трогания не во всех случаях определяет максимальные нагрузки в ТСУ. Сравнивая динамические нагрузки при разгоне и трогании ЛТ с П, первые иногда превышают нагрузки трогания в 2-3 раза. Расчетная нагрузка в ТСУ должна выбираться не только из условий трогания и разгона, но и с учетом реальных нагрузок, возникающих в различных дорожных условиях.



1 – крюковое ТСУ с металлической пружиной;
2 – шкворневое ТСУ с резиновым УЭ

Рисунок 11. Зависимости изменения вертикальных усилий в ТСУ при движении ЛТ с П по обустроенной ЛД с различной скоростью

Влияние продольного зазора на нагрузочный режим ТСУ при движении ЛТ с П по ЛД с различным качеством покрытия проявляется неодинаково (Рисунок 12). Уменьшение зазора сопровождается увеличением частоты колебаний усилия. Изменение зазора с 0 до 14 мм при движении по необустроенной ЛД со скоростью 20 км/снизило частоту колебаний усилия примерно в 2 раза, а при движении по обустроенной ЛД со скоростью 40 км/ч – в 1,7 раза.

Выполненное исследование позволяет сделать следующие выводы.

Использование в ТСУ УЭ с резиновым амортизатором в сравнении с металлической пружиной обеспечивает: более плавное движение ЛА в условиях недостаточно обустроенных ЛД; меньший износ, облегчение условий работы

сцепления ЛТ в момент трогания с места. Из анализа представленных зависимостей видно, что: увеличение жесткости УЭ ТСУ вызывает ударное приложение нагрузок между ЛТ с П; повышение скорости включения сцепления в 5 раз способствует увеличению усилий в ТСУ в 2,5 раза; при движении ЛА по необустроенной ЛД нагрузочный режим в крюковом ТСУ с УЭ в виде металлической пружины немного выше, чем в ТСУ с УЭ в виде резинового буфера; при преодолении ЛА единичных неровностей, имеющих на ЛД, амплитуды максимальных вертикальных и горизонтальных усилий возрастают с увеличением зазора в ТСУ и высоты неровностей ЛД.

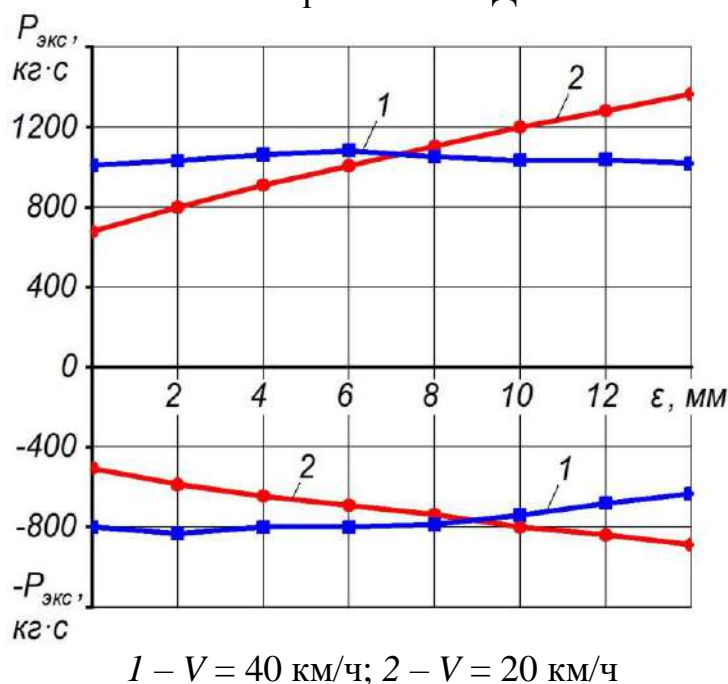


Рисунок 12 – Зависимости изменения вертикальных усилий в ТСУ при движении ЛТ с П по обустроенной 1 и необустроенной 2 ЛД с различной скоростью

При выборе параметров и оценке рабочих качеств УЭ ТСУ необходимо исходить из возможности обеспечения длительного движения ЛТ с П в интервале эксплуатационных скоростей по недостаточно обустроенным ЛД, без неприятных ощущений и быстрой утомляемости водителя, т.е. учитывать физиологические особенности человеческого организма. Учет физиологических особенностей человеческого организма при определении параметров УЭ ТСУ ЛА дает возможность улучшить условия труда водителя, за это счет – увеличить скорости движения ЛА и, следовательно, повысить его производительность.

Конструктивные изменения в ТСУ, обеспечивающие повышение эффективности ЛТ с П при вывозке лесоматериалов в сложных дорожных условиях, направлены в основном на уменьшение зазоров, ускорение операции по сцепке-расцепке ЛТ с П, обеспечение безопасности для обслуживающего персонала, улучшение рабочих параметров УЭ, а также повышение срока службы ТСУ за счет повышения их износостойкости путем введения более строгих допусков на изготовление, применение термообработки и т.д.

Перспективным направлением, способствующим улучшению условий труда водителей, а также повышению надежности ЛА при их движении по недостаточно обустроенным ЛД, является разработка и исследование предложенных ранее автором конструкций пневмогидравлических и пружинно-гидравлических ТСУ, оснащенных рекуперативными гидроприводами. Установка таких ТСУ на ЛА позволит снизить расход топлива благодаря рекуперации энергии рабочей жидкости и ее полезному использованию в технологическом гидравлическом оборудовании ЛА. Кроме этого, такие ТСУ обеспечат демпфирующий эффект, который позволит в несколько раз снизить величину динамических нагрузок на элементы конструкции ЛТ с П при его движении в неустановившихся режимах, в результате чего повышается плавность хода ЛА при его движении по недостаточно обустроенным ЛД [7-9].

Список литературы

1. Никонов, В. О. Современное состояние, проблемы и пути повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта / В. О. Никонов. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2021. – 203 с.
2. Посметьев, В. И. О влиянии традиционных конструкций тягово-сцепных устройств на эксплуатационные свойства лесовозных автопоездов / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 4, № 4(42). – С. 45-64. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-45-64.
3. Посметьев, В. И. Анализ изменения нагрузок в сцепном устройстве в процессе эксплуатации лесовозного автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, И. В. Сизьмин, С. М. Злобин // Инновации в автомобильном транспорте : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 19-20 мая 2022 года. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2022. – С. 10-15. – DOI 10.34220/IRT2022_10-15.
4. Никонов, В. О. Оценка показателей эффективности рекуперативного тягово-сцепного устройства лесовозного автопоезда / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, В. В. Посметьев, И. В. Сизьмин // Лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы : вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата : Материалы Международного лесного форума, Воронеж, 29-30 сентября 2022 года / Отв. редактор Н. В. Яковенко. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2022. – С. 214-219. – DOI 10.58168/IFF2022_214-219.
5. Напольский, Г. М. Исследование эксплуатационно-технических качеств упругого устройства сцепного прибора автопоезда : диссертация ... кандидата технических наук : 05.00.00. – Москва, 1965. – 172 с.
6. Федоров, Б. П. Исследование взаимодействия звеньев автомобильного поезда при разгоне на передачах в различных условиях : Автореферат дис. на соискание учен. степ. канд. техн. наук / Воен.-трансп. акад. им. Л. М. Кагановича. – Ленинград, 1956. – 22 с.

7. Патент № 2772141 С1 Российская Федерация, МПК В60D 1/14, В60D 1/145, В60D 1/155. Рекуперативное пневмогидравлическое сцепное устройство автопоезда : № 2021138826 : заявл. 25.12.2021 : опубл. 18.05.2022 / В. И. Посметьев, М. В. Драпалюк, В. О. Никонов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова".
8. Патент № 2772401 С1 Российская Федерация, МПК В60D 1/14, В60D 1/145, В60D 1/155. Рекуперативное пружинно-гидравлическое сцепное устройство автопоезда одностороннего действия : № 2021138825 : заявл. 25.12.2021 : опубл. 19.05.2022 / В. И. Посметьев, М. В. Драпалюк, В. О. Никонов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова".
9. Патент № 2784227 С1 Российская Федерация, МПК В60D 1/14, В60D 1/145, В60D 1/155. Рекуперативное пневмогидравлическое дышло сцепного устройства автопоезда с функцией самовытаскивания : № 2022124514 : заявл. 16.09.2022 : опубл. 23.11.2022 / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, И. В. Сизьмин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

References

1. Nikonov, V. O. Current state, problems and ways to improve the efficiency of timber transport / V. O. Nikonov. – Voronezh : Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova, 2021. – 203 p.
2. Posmetiev, V. I. On the influence of traditional designs of traction-coupling devices on the operational properties of logging road trains / V. I. Posmetiev, V. O. Nikonov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2022. – V. 4, № 4 (42). – S. 45-64. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-45-64.
3. Posmetiev, V. I. Analysis of load changes in the coupling device during the operation of a timber road train / V. I. Posmetiev, V. O. Nikonov, I. V. Sizmin, S. M. Zlobin // Innovations in road transport : materials All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, May 19-20, 2022. – Voronezh : Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova, 2022. – S. 10-15. – DOI 10.34220/IRT2022_10-15.
4. Nikonov, V. O. Evaluation of the efficiency indicators of the recuperative traction-coupling device of a timber road train / V. O. Nikonov, V. I. Posmetiev, V. V. Posmetiev, I. V. Sizmin // Forest ecosystems as a global resource of the biosphere: challenges, threats, solutions in the context of climate change : Proceedings of the International Forestry Forum, Voronezh, September 29-30, 2022 / Ed. editor N. V. Yakovenko. – Voronezh : Voronezh State Forestry

- University named after G. F. Morozova, 2022. – S. 214-219. – DOI 10.58168/IFF2022_214-219.
5. Napolsky, G. M. Research of operational and technical qualities of the elastic device of the coupling device of the road train: dissertation ... Cand. Tech. Sci. : 05.00.00. – Moscow, 1965. – 172 p.
 6. Fedorov, B. P. Study of the interaction of links of an automobile train during acceleration on gears in various conditions : Abstract of the thesis. for the academic step. cand. tech. Sciences / Military-transp. acad. them. L. M. Kaganovich. – Leningrad, 1956. – 22 p.
 7. Patent № 2772141 C1 Russian Federation, IPC B60D 1/14, B60D 1/145, B60D 1/155. Recuperative pneumohydraulic coupler of road train : № 2021138826 : Appl. 12.25.2021 : publ. May 18, 2022 / V. I. Posmetiev, M. V. Drapalyuk, V. O. Nikonov [and others] ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov".
 8. Patent № 2772401 C1 Russian Federation, IPC B60D 1/14, B60D 1/145, B60D 1/155. Regenerative spring-hydraulic coupler of a single-acting road train : № 2021138825 : Appl. 12.25.2021 : publ. May 19, 2022 / V. I. Posmetiev, M. V. Drapalyuk, V. O. Nikonov [and others] ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov".
 9. Patent № 2784227 C1 Russian Federation, IPC B60D 1/14, B60D 1/145, B60D 1/155. Regenerative pneumohydraulic drawbar of a road train hitch with a self-pulling function : № 2022124514 : Appl. 09.16.2022 : publ. 23.11.2022 / V. I. Posmetiev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetiev, I. V. Sizmin; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov".

О влиянии тягово-сцепных устройств на эффективность лесовозного автопоезда

Аннотация. Приведена классификация факторов, от которых зависит изменение во времени конструктивных параметров тягово-сцепных устройств лесовозных автопоездов. Рассмотрены последствия воздействия динамических нагрузок на детали тягово-сцепных устройств различного исполнения при эксплуатации лесовозных тягачей с прицепами. Описаны возможные режимы движения лесовозного тягача с прицепом в процессе вывозки лесоматериалов в условиях недостаточно обустроенных лесовозных дорог. Приведено математическое описание основных этапов движения лесовозного автопоезда при его трогании. Проанализированы зависимости изменения максимальной деформации упругого элемента, усилий, возникающих в тягово-сцепном устройстве от силы тяги лесовозного тягача. Представлены зависимости влияния жесткости упругого элемента, а также зазоров в сцепном устройстве на величину максимальной деформации упругого элемента и усилия, воздействующие на сцепное устройство. Описаны перспективные пути совершенствования конструкции тягово-сцепного устройства, способствующие улучшению эффективности работы лесовозных тягачей с прицепами.

Ключевые слова: эксплуатационные факторы, тягово-сцепное устройство, лесовозный автопоезд, неисправности, надежность, лесная промышленность, повышение эффективности, упругий элемент, процесс трогания, максимальное усилие.

Nikonov V.O., Posmetev V.I.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

On the influence of traction devices on the efficiency of a timber truck train

Abstract. A classification of factors on which changes in time in the design parameters of traction coupling devices of timber road trains depends. The consequences of the influence of dynamic loads on the parts of towing devices of various designs during the operation of timber tractors with trailers are considered.

Possible modes of movement of a timber tractor with a trailer during the removal of timber in conditions of insufficiently equipped timber roads are described. A mathematical description of the main stages of movement of a timber road train when it starts is given. The dependences of changes in the maximum deformation of the elastic element and the forces arising in the towing device on the traction force of a timber tractor are analyzed. The dependences of the influence of the rigidity of the elastic element, as well as the gaps in the coupling device on the maximum deformation of the elastic element and the forces acting on the coupling device, are presented. Promising ways to improve the design of the towing device, which will help improve the operating efficiency of timber tractors with trailers, are described.

Keywords: operational factors, towing device, logging road train, malfunctions, reliability, forestry industry, efficiency improvement, elastic element, starting process, maximum force.

Транспорт леса является одной из основных фаз производственного процесса лесной промышленности. При этом важнейшей задачей является дальнейшее расширение применения лесовозных автопоездов (ЛА), а также повышение эффективности их работы за счет совершенствования конструкции, увеличения грузоподъемности, скорости движения ЛА, снижения сопротивления качению. Решение данной задачи позволит повысить надежность и долговечность ЛА, производительность труда, улучшить безопасность движения, а также и снизить себестоимость процесса вывозки лесоматериалов [1-3].

В процессе вывозки лесоматериалов лесовозными тягачами (ЛТ) с прицепами (П) на тягово-сцепные устройства (ТСУ) воздействует большое число эксплуатационных факторов, существенно влияющих на их ресурс, работоспособность и надежность (Рисунок 1). Техническое состояние ТСУ ЛТ с П характеризуется совокупностью изменяющихся свойств его элементов, определяемых текущим значением их конструктивных параметров. Причинами ухудшения конструктивных параметров деталей и технического состояния ТСУ, а также выхода его из строя, являются взаимное перемещение, нагружение и износ подвижных сопряжений ТСУ под влиянием сил трения [4].

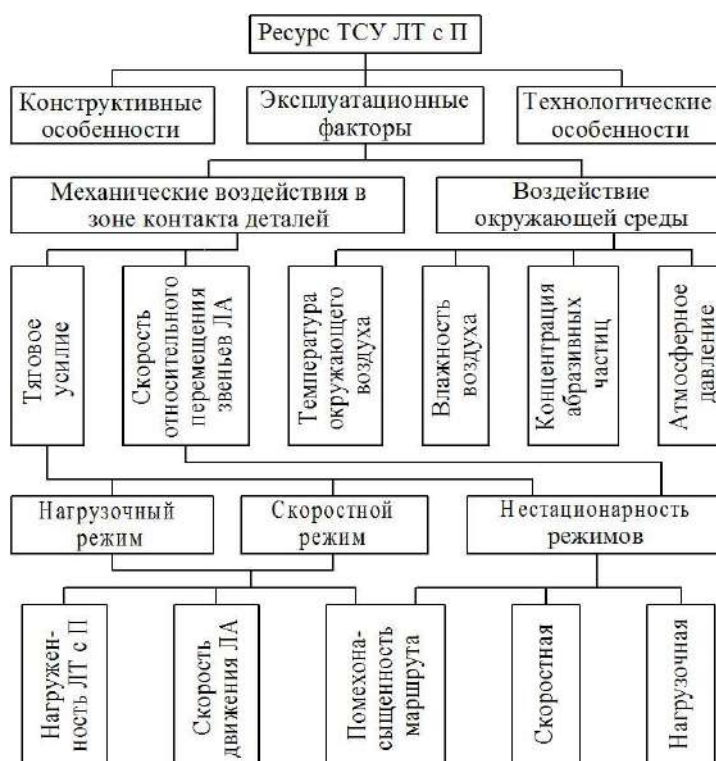


Рисунок 1. Факторы, определяющие ресурс ТСУ ЛТ с П [4]

В отличие от других механизмов, где недостаточная надежность может сказаться только на качестве работы, случаи самопроизвольной расцепки ТСУ ЛА в процессе вывозки лесоматериалов в условиях недостаточно обустроенных лесовозных дорог (ЛД) сопровождаются серьезными последствиями, влекущими значительный материальный ущерб. Надежность функционирования ТСУ определяется двумя факторами: прочностью отдельных его деталей, подверженных повышенным динамическим нагрузкам, безотказной работой замочных и предохранительных приспособлений, не допускающих самопроизвольной расцепки. Тяговые крюки сцепных устройства, обладающие простой конструкцией, несложностью в изготовлении, малой стоимостью и небольшим весом, имеют существенные недостатки, снижающие их конструктивно-эксплуатационные показатели. При регулярной использовании ЛТ с П в процессе вывозки лесоматериалов в условиях недостаточно обустроенных ЛД, срок службы их тяговых крюков вследствие износов интенсивно сокращается. Помимо низкой износостойкости, тяговые крюки сцепных устройств имеют и недостаточную прочность. При движении ЛТ с П, с превышением грузоподъемности часто происходят поломки крюка сцепного устройства. Кроме этого, часто встречается форсированный износ направляющих втулок сцепного устройства. Необходимо отметить, что тяговые крюки сцепных устройств, как правило, не ремонтируются и в случае необходимости заменяются новыми, а применение для изготовления тяговых крюков сцепных устройств дорогостоящих сталей является не рациональным [5].

В процессе эксплуатации ЛТ с П вследствие износа внутренней поверхности зева тяговых крюков и сцепных петель (особенно если применяются нестандартные детали) происходит увеличение зазоров в ТСУ.

Большие зазоры в ТСУ служат источником возникновения ударных нагрузок, приводящих к расшатыванию элементов ходовой части, к ускоренному износу и поломкам деталей ЛА. Указанные нагрузки также способствуют сокращению межремонтного пробега ЛТ с П, уменьшают срок службы его отдельных узлов и деталей. Износ указанных узлов и деталей происходит в основном в период переходных неустановившихся режимов движения, а также при движении ЛА по недостаточно обустроенным ЛД [5].

К числу наиболее характерных неисправностей другого типа ТСУ с тяговыми шкворневыми вилками относят: неполное опускание шкворня вниз вследствие его заедания из-за несвоевременной смазки или нарушения работы рычажной системы затвора (в этом случае возможны поломки шкворня и вилки в опасных сечениях); ослабление гаек крепления кожуха рычажного механизма, нарушающее взаимодействие его деталей. Стержень тягового крюка (тяговой вилки) сцепного устройства испытывает постоянные по знаку, но пульсирующие по величине напряжения растяжения.

Важно также отметить, что надежность работы сцепного устройства ЛТ с П и их продольная устойчивость движения зависят от жесткости упругого элемента (УЭ в ТСУ, что существенно влияет на характер динамического взаимодействия между звеньями ЛА. Он смягчает и поглощает случайные толчки и удары, возникающие в сцепном устройстве при движении ЛТ с П на переходных неустановившихся режимах, а также по неровностям ЛД. Малая жесткость УЭ приводит к раскачке П и к нарушению устойчивости движения ЛА, причем, при слишком малом значении жесткости, УЭ пробивается и теряет свои упругие свойства. Завышенная жесткость УЭ способствует повышению нагрузок в ТСУ, которая передается на основные детали ходовой части ЛА, ускоряя износ и разрушение их. С уменьшением жесткости УЭ уменьшается усилие в ТСУ, но увеличивается относительная скорость между ЛТ и П, что приводит к дополнительной раскачке ЛА, и наоборот, с увеличением жесткости увеличивается усилие в ТСУ и уменьшается относительная скорость ЛА [5].

Возможными режимами движения ЛТ с П в процессе вывозки лесоматериалов в сложных дорожных условиях, являются: трогание с места, разгон, движение по недостаточно обустроенным ЛД, переключение скоростей, торможение, движение по криволинейному участку ЛД, наезд на единичное препятствие ЛД, движение по поперечным и наклонным уклонам участков ЛД, движение на прямолинейном участке ЛД с переменной скоростью, движение при сильном порыве ветра и т.п. [6].

Процесс трогания с места характеризует тяговые возможности ЛТ с П и в значительной степени определяет необходимую мощность двигателя, а также передаточное число трансмиссии. В этот период возникают наибольшие динамические нагрузки и величина амплитуды продольных колебаний. Нагрузки при трогании с места ЛА являются наибольшими по сравнению с другими режимами движения ЛТ с П в условиях недостаточно обустроенных ЛД. В период трогания с места на ЛТ с П действуют следующие силы: сила тяги ЛТ, которая зависит от характера изменения момента трения,

передаваемого фрикционной муфтой сцепления; силы инерции ЛТ и П; силы сопротивления движению ЛТ и П; силы демпфирования; силы упругости [6].

Математическое описание процесса трогания ЛТ с П может быть представлено в следующем виде. П имеет одну степень свободы, за которую принимается продольное перемещение его относительно ЛТ. Предполагается, что ЛТ и П представляют собой абсолютно твердые тела, соединенные между собой нелинейной упругой связью с зазорами. В период трогания с места движение системы ЛТ – П рассматривается поэтапно. На первом этапе происходит растяжение ЛТ с П за счет выбора зазора в ТСУ. При этом П некоторое время находится в состоянии покоя, а ЛТ перемещается в пределах зазора. На втором этапе осуществляется удар с начальной скоростью V_0 и ЛТ с П совершает относительное движение за счет деформации УЭ. Схема сил, действующих на ЛТ с П при трогании с места приведена на рисунке 2 [6].

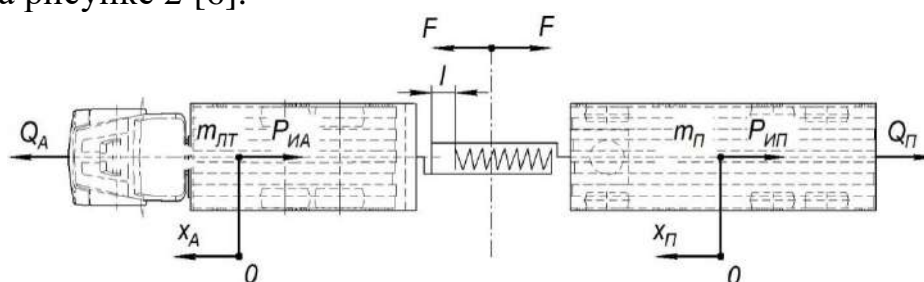


Рисунок 2. Схема сил, действующих на ЛТ и П при трогании с места

Дифференциальное уравнение, описывающее движения ЛТ на первом этапе, имеет вид:

$$m_{ЛТ} \ddot{x} = Q_{ЛТ}(x), \quad (1)$$

откуда

$$\dot{x} = V_0 = \sqrt{2 \int_0^l \frac{Q_{ЛТ}(x)}{m_{ЛТ}} dx}. \quad (2)$$

Если нарастание силы тяги изменяется по линейному закону пропорциональному пути движения ЛТ, т.е. $Q_{ЛТ}(x) = Q_{ЛТ} \frac{x}{L}$, то

$$V_0 = l \sqrt{\frac{Q_{ЛТ}}{m_{ЛТ} L}}. \quad (3)$$

При $Q_{ЛТ}(x) = Q_{ЛТ} = const$, получим

$$V_0 = \sqrt{2 \frac{Q_{ЛТ} l}{m_{ЛТ}}}, \quad (4)$$

где $Q_{ЛТ}$ – равнодействующая сила тяги ЛТ с учетом сопротивления его движению; l – зазор в ТСУ; $m_{ЛТ}$ – масса ЛТ; L – путь, пройденный ЛТ до окончания буксования муфты сцепления [3].

Движение ЛТ с П на втором этапе описывается дифференциальными уравнениями:

$$m_{ЛТ} \ddot{x}_{ЛТ} + K\varphi(\dot{q}) + f(q) = Q_{ЛТ}(t), \quad (5)$$

$$m_{П} \ddot{x}_{П} - k\varphi(\dot{q}) - f(q) = -Q_{П}, \quad (6)$$

где $x_{ЛТ}$ и $x_{П}$ – перемещение центров тяжести ЛТ и П, отсчитываемые от некоторого исходного положения после выбора зазора в ТСУ; $q = x_{ЛТ} - x_{П}$ – деформация УЭ (относительное перемещение между ЛТ и П) [6].

После преобразования уравнений (5) и (6) получим:

$$\ddot{q} + 2 \cdot \delta \cdot \varphi(\dot{q}) + \frac{1}{m} f(q) = \frac{Q_{ЛТ}(t)}{M}, \quad (7)$$

где $2 \cdot \delta = \frac{K}{m}$ – коэффициент демпфирования; $m = \frac{m_{ЛТ} \cdot m_{П}}{m_{ЛТ} + m_{П}}$ – приведенная масса ЛТ и П; $f(q)$ – сила упругости; $M = \frac{Q_{ЛТ}(t) \cdot m_{ЛТ} \cdot m_{П}}{Q_{ЛТ}(t) \cdot m_{П} + Q_{П} \cdot m_{ЛТ}}$; $Q_{ЛТ}(t) = Q_{ЛТ} \frac{t}{T}$ – закон изменения движущей силы ЛТ; t – текущее время; T – время буксования муфты сцепления; $Q_{ЛТ}$ – равнодействующая сила тяги ЛТ; $Q_{П} = G_{П} \cdot f_0$ – сила сопротивления качению П; G – вес П; f_0 – коэффициент трения качения покоя.

Запишем уравнение (7) в виде эквивалентного линейного дифференциального уравнения:

$$\ddot{q} + 2 \cdot \delta_1 \cdot \dot{q} + \omega^2 q = \frac{Q_{ЛТ}(t)}{M}, \quad (8)$$

где

$$\delta_1 = \frac{K}{2 \cdot \pi \cdot q \cdot p \cdot m} \int_0^{2\pi} f(q \cdot p \cdot \cos \varphi) \cos \varphi d\varphi, \quad (9)$$

$$\omega^2 = \frac{1}{\pi \cdot q \cdot m} \int_0^{2\pi} f(q \cdot \sin \varphi) \sin \varphi d\varphi. \quad (10)$$

где ω – собственная мгновенная частота колебаний УЭ с нелинейной характеристикой [6].

Приведенная жесткость УЭ ТСУ определяется по следующей зависимости:

$$C = C_0 + \sum_1^n \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} V_n \cdot q^{2n-2}, \quad (11)$$

где C_0 – начальная жесткость нелинейного УЭ (жесткость при малых деформациях порядка 20 %); $n = 2, 3, 4 \dots$; V_2, V_1, \dots – опытные коэффициенты, полученные путем обработки характеристики УЭ.

Максимальное усилие в ТСУ может быть найдено произведением максимального ускорения П на его массу или произведением максимальной деформации УЭ на его усредненную жесткость:

$$F_{\max} = q_{\max} \cdot C, \quad (12)$$

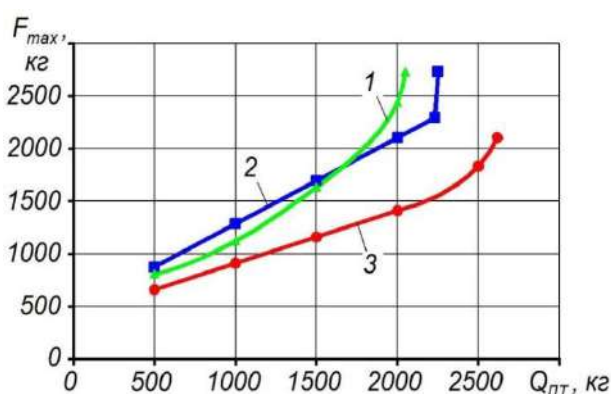
где C – жесткость УЭ; q_{max} – максимальная деформация УЭ.

Для линейной характеристики УЭ максимальное усилие в ТСУ F_{max} определяется по формуле:

$$F_{max} = F_0 \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{V_0 \cdot M \cdot P}{Q_{ЛТ}} \right)^2} \right), \quad (13)$$

где $Q_{ЛТ}$ – движущая сила ЛТ; V_0 – начальная скорость [6].

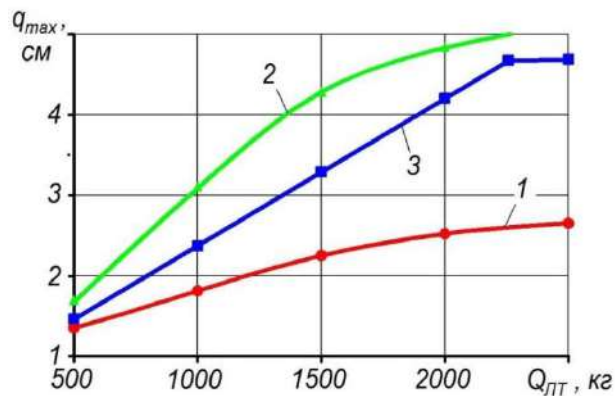
Зависимости изменения максимальных усилий в ТСУ от движущей силы ЛТ $Q_{ЛТ}$ приведены на рисунке 3. Из графиков видно, что наименьшее усилие в ТСУ обеспечивает УЭ с мягкой нелинейностью. Применение резинового УЭ с мягкой характеристикой обеспечивает уменьшение усилия в ТСУ в 1,5 раза по сравнению со стальной пружиной и в 1,7 раза по сравнению с резиновым элементом, имеющим жесткую характеристику. Снижение динамических нагрузок между звеньями ЛА достигнуто за счет мягкости характеристики, рассеивания энергии диссипативными силами и увеличения рабочей осадки УЭ. Резиновый УЭ с жесткой нелинейностью имеет некоторое преимущество по сравнению со стальной пружиной (Рисунок 3) [6].



1 – жесткая характеристика; 2 – линейная характеристика; 3 – мягкая характеристика

Рисунок 3. Зависимости изменения максимальных усилий в ТСУ от движущей силы ЛТ $Q_{ЛТ}$

На рисунке 4 показаны зависимости максимальной деформации УЭ q_{max} от силы тяги ЛТ $Q_{ЛТ}$ для различных характеристик (линейная, жесткая и мягкая). Наибольшая деформация имеет место при стальной пружине, наименьшая – с резиновым элементом при жесткой характеристике, а промежуточное положение занимает УЭ с мягкой характеристикой [6].



1 – жесткая характеристика; 2 – линейная характеристика; 3 – мягкая характеристика

Рисунок 4. Зависимости изменения максимальной деформации УЭ q_{max} от силы тяги ЛТ $Q_{ЛТ}$

На рисунке 5 показаны зависимости усилий в ТСУ с резиновым УЭ от различной начальной жесткости и различных зазоров. Наличие зазоров оказывает отрицательное действие на величину динамической нагрузки. Кривые на рисунке 5 показывают, что зазор в соединении крюк – петля оказывает существенное влияние на увеличение нагрузки в ТСУ. Особенно это заметно при больших жесткостях УЭ. В случае беззазорной сцепки ЛТ с П с увеличением жесткости УЭ усилие в ТСУ возрастает на незначительную величину (некоторое увеличение нагрузки с увеличением жесткости объясняется повышением демпфирующих свойств резины) [6].

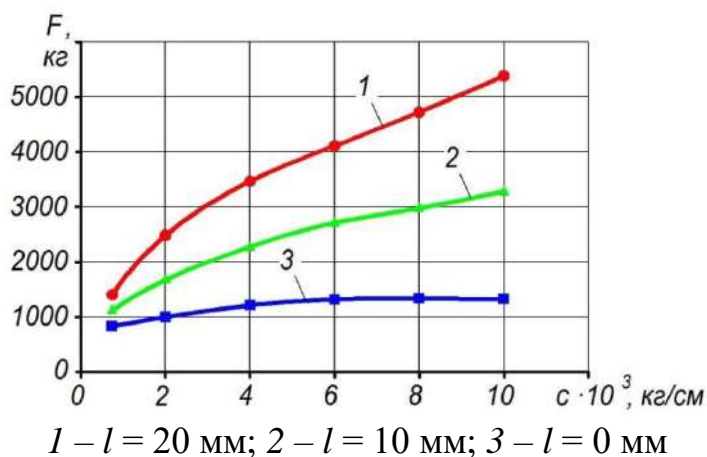
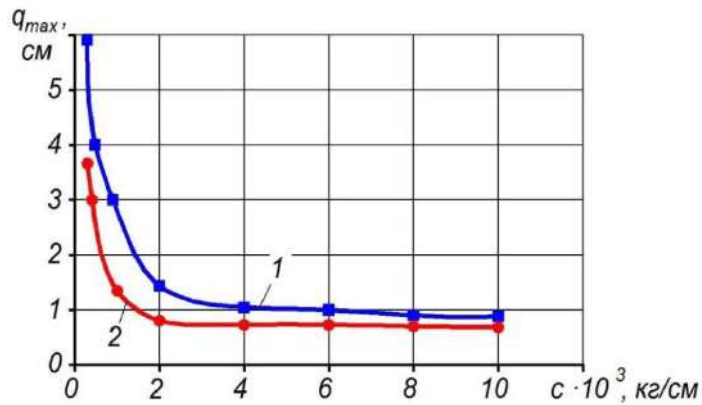


Рисунок 5. Зависимости усилий в ТСУ с резиновым УЭ от различной начальной жесткости и зазоров

Рисунок 6 иллюстрирует влияние жесткости на величину максимальной деформации УЭ. На рисунке 7 представлена кривая зависимости усилия в ТСУ от величины коэффициента демпфирования [6].

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

Динамическое взаимодействие между звеньями ЛА в процессе вывозки лесоматериалов



1 – стальная пружина; 2 – резиновый УЭ

Рисунок 6. Зависимости влияния жесткости УЭ ТСУ на величину максимальной деформации УЭ

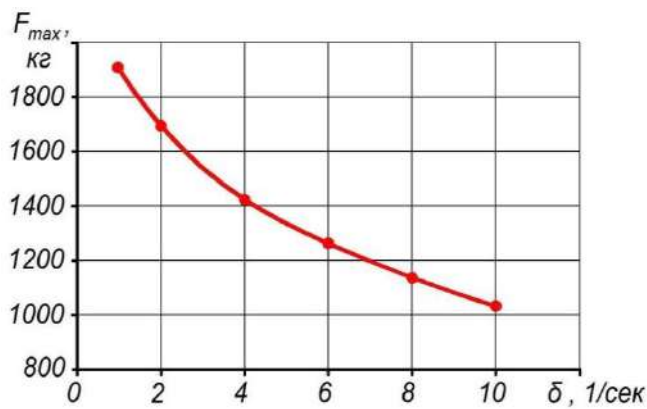


Рисунок 7. Зависимость влияния коэффициента демпфирования на усилия в ТСУ ЛТ с П

в сложных дорожных условиях более отчетливо проявляется на переходных неустановившихся режимах движения. Самым неблагоприятным режимом движения ЛТ с П, в результате которого между его звеньями образуются наибольшие динамические нагрузки, является режим трогания ЛА с места. Кроме этого, значительные по величине динамические нагрузки между ЛТ с П возникают при торможении в условиях недостаточно обустроенных ЛД. Снижение величин этих динамических нагрузок, влияющих на надежность и долговечность ЛТ с П, эксплуатируемых в сложных дорожных и природно-климатических условиях, представляет первоочередной интерес с точки зрения повышения эффективности работы ЛА.

Снижение динамических нагрузок, возникающих между звеньями ЛА, повышение продольной устойчивости, улучшение плавности движения ЛТ с П, ограничение резонансной амплитуды колебаний между ЛТ и П, можно добиться, путем: выбора оптимальной характеристики УЭ для сцепного устройства, его жесткости и демпфирующих свойств; разработки и исследования перспективных конструкций пневмогидравлических, пружинно-гидравлических ТСУ, оснащенных, в том числе, системами рекуперации энергии [7-10].

Практическое применение новых конструкций рекуперативных тягово-сцепных устройств, позволит: снизить влияние эксплуатационных факторов на износ сопряжений деталей ТСУ, улучшить топливо-экономические показатели ЛА, а также условия труда водителей.

Снижение уровня колебаний в продольном направлении движения ЛТ с П будет обеспечено за счет гашения динамических нагрузок, возникающих между звеньями ЛА при его движении в процессе вывозки лесоматериалов в условиях недостаточно обустроенных ЛД. Сокращение расхода топлива ЛТ будет достигаться за счет экономии энергии, затрачиваемой на погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые гидравлическим манипулятором, путем использования энергии, накопленной в пневмогидравлическом аккумуляторе.

Список литературы

1. Никонов, В. О. Современное состояние, проблемы и пути повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта / В. О. Никонов. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2021. – 203 с.
2. Никонов, В. О. Оценка эффективности применения рекуперативного пневмогидравлического тягово-сцепного устройства лесовозного автопоезда / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, В. В. Посметьев // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 3, № 3(41). – С. 47-63. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-47-63.
3. Посметьев, В. И. О влиянии традиционных конструкций тягово-сцепных устройств на эксплуатационные свойства лесовозных автопоездов / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 4, № 4(42). – С. 45-64. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-45-64.
4. Цыпцын, М. В. Повышение долговечности тягово-сцепных устройств тракторно-транспортных агрегатов триботехническими методами : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.03. – Саратов, 2006. – 284 с.
5. Щукин, М. М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей : Конструкция, теория и расчет. – Москва ; Ленинград : Машгиз. Ленингр. отд-ние, 1961. – 207 с.
6. Проскурин, А. Н. Исследование динамики тягово-сцепного устройства с нелинейной упругой характеристикой : диссертация ... кандидата технических наук : 05.00.00. – Днепропетровск, 1970. – 170 с.
7. Никонов, В. О. К обоснованию применения пневмогидравлического сцепного устройства автопоезда с демпферным и рекуперативным механизмами / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, И. В. Сизьмин [и др.] // Инновации в автомобильной отрасли : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 18-19 мая 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 46-60. – DOI 10.58168/AutoIndustry2023_46-60.

8. Никонов, В. О. Оптимизация конструктивных параметров рекуперативного сцепного устройства, установленного в лесовозном автомобиле с прицепом / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, В. А. Зеликов [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 1(49). – С. 162-179. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/11.
9. Посметьев, В. И. Анализ изменения нагрузок в сцепном устройстве в процессе эксплуатации лесовозного автопоезда / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, И. В. Сизьмин, С. М. Злобин // Инновации в автомобильном транспорте : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 19-20 мая 2022 года. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2022. – С. 10-15. – DOI 10.34220/IRT2022_10-15.
10. Никонов, В. О. Оценка показателей эффективности рекуперативного тягово-сцепного устройства лесовозного автопоезда / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, В. В. Посметьев, И. В. Сизьмин // Лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы: вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата : Материалы Международного лесного форума, Воронеж, 29-30 сентября 2022 года / Отв. редактор Н. В. Яковенко. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2022. – С. 214-219. – DOI 10.58168/IFF2022_214-219.

References

1. Nikonov, V. O. Current state, problems and ways to increase the efficiency of timber transport vehicles / V. O. Nikonov. – Voronezh : Voronezh State Forestry University named after. G. F. Morozova, 2021. – 203 p.
2. Nikonov, V. O. Evaluation of the effectiveness of using a regenerative pneumohydraulic traction device for a timber road train / V. O. Nikonov, V. I. Posmetyev, V. V. Posmetyev // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2022. – Т. 3, № 3(41). – P. 47-63. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-47-63.
3. Posmetyev, V. I. On the influence of traditional designs of towing coupling devices on the operational properties of timber hauling road trains / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2022. – Т. 4, № 4(42). – P. 45-64. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-45-64.
4. Tsyptsyn, M. V. Increasing the durability of traction devices of tractor-transport units using tribological methods : dissertation ... Candidate of Technical Sciences : 05.20.03. – Saratov, 2006. – 284 p.
5. Shchukin, M. M. Coupling devices for cars and tractors : Design, theory and calculation. – Moscow; Leningrad : Mashgiz. Leningr. department, 1961. – 207 p.
6. Proskurin, A. N. Study of the dynamics of a towing device with a nonlinear elastic characteristic: dissertation ... candidate of technical sciences : 05.00.00. – Dnepropetrovsk, 1970. – 170 p.
7. Nikonov, V. O. To justify the use of a pneumohydraulic coupling device for a road train with damper and recuperative mechanisms / V. O. Nikonov, V. I.

- Posmetyev, I. V. Sizmin [etc.] // Innovations in the automotive industry : materials All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, May 18-19, 2023. – Voronezh : Voronezh State Forestry University named after. G. F. Morozova, 2023. – P. 46-60. – DOI 10.58168/AutoIndustry2023_46-60.
8. Nikonov, V. O. Optimization of the design parameters of a regenerative coupling device installed in a timber vehicle with a trailer / V. O. Nikonov, V. I. Posmetyev, V. A. Zelikov [etc.] // Forestry Journal. – 2023. – T. 13, № 1(49). – pp. 162-179. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/11.
9. Posmetyev, V. I. Analysis of changes in loads in the coupling device during the operation of a timber road train / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, I. V. Sizmin, S. M. Zlobin // Innovations in automobile transport : materials All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, May 19-20, 2022. – Voronezh: Voronezh State Forestry University named after. G. F. Morozova, 2022. – P. 10-15. – DOI 10.34220/IRT2022_10-15.
10. Nikonov, V. O. Assessing the efficiency indicators of the regenerative traction coupling device of a timber road train / V. O. Nikonov, V. I. Posmetyev, V. V. Posmetyev, I. V. Sizmin // Forest ecosystems as a global resource of the biosphere : challenges, threats, solutions in the context of climate change: Materials of the International Forestry Forum, Voronezh, September 29-30, 2022 / Rep. editor N. V. Yakovenko. – Voronezh : Voronezh State Forestry University named after. G. F. Morozova, 2022. – P. 214-219. – DOI 10.58168/IFF2022_214-219.

СЕКЦИЯ 6. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И БЕЗОТХОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ. НОВЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

DOI: 10.58168/Forestry2023_540-548

УДК 630

Fokin S.¹, Eskov D.¹, Razdobarova M.¹,
Shportko O.², Fomina O.³

¹*Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov*

²*Gagarin Saratov State Technical University Saratov,*

³*State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen*

On the results of the study of the energy intensity of the stump wood milling process by a conical cutter with a liquid filler

Abstract. The modern development of bioenergy came after the signing of the Kyoto agreement to counteract global climate change and due to a significant increase in the price of hydrocarbons, which also affected Russia. In some countries, such as Finland and Sweden, after the development of the Renewable Energy Action Plan, the development of technologies for the use of renewable resources as fuel, in particular wood, began. The development of bioenergy technology in these countries contributes to the development of technologies for collecting and processing wood raw materials and creating new jobs in the forestry and energy production industries, as well as stabilizing energy prices, as a result of competition in the market with traditional energy sources. In Russia, despite the significant reserves of wood raw materials these technologies have not received significant development. This is influenced by unequal competitive conditions on the energy market. Although in many respects energy products based on wood raw materials is not inferior to traditional energy sources. But since the technology of extraction, sale of hydrocarbon fuel has been created since the Soviet era and does not require significant financial investments, the development of bio-energy technology is practically created from scratch. Currently prevailing are local with small volumes of enterprises for the production of wood fuel. One of the types of energy wood is the technology of harvesting woody biomass from stumps and roots is carried out on the plots of primary use with loose mineral soils. At the same time, the wood biomass is harvested by machine using general-purpose tractors equipped with special equipment in the form of a conical cutter with a liquid filler, and regrinding of the obtained material is made by a chipper directly at the consumer. The paper presents the results of studying the energy intensity of stump wood chopping process at different design characteristics of conical cutters with liquid filler and technological parameters of raw material chopping process

Key words: energy intensity, wood grinding process, stumps, cone cutter, liquid filler

**Фокин С.¹, Еськов Д.¹, Раздобарова М.¹,
Шпортько О.², Фомина О.³**

¹Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова, Саратов

²Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина, Саратов,

³ Государственный аграрный университет Северного
Зауралья, Тюмень

О результатах исследования энергоемкости процесса измельчения древесины пней конусной фрезой с жидким наполнителем

Аннотация. Современное развитие биоэнергетики произошло после подписания Киотского соглашения о противодействии глобальному изменению климата и в связи со значительным повышением цен на углеводороды, которое также затронуло Россию. В некоторых странах, таких как Финляндия и Швеция, после разработки Плана действий по возобновляемым источникам энергии началась разработка технологий использования возобновляемых ресурсов в качестве топлива, в частности древесины. Развитие биоэнергетических технологий в этих странах способствует развитию технологий сбора и переработки древесного сырья и созданию новых рабочих мест в лесном хозяйстве и энергетике, а также стабилизации цен на энергоносители в результате конкуренции на рынке с традиционными источниками энергии. В России, несмотря на значительные запасы древесного сырья, эти технологии не получили существенного развития. На это влияют неравные конкурентные условия на энергетическом рынке. Хотя по многим параметрам энергетическая продукция на основе древесного сырья не уступает традиционным источникам энергии. Но поскольку технология добычи, реализации углеводородного топлива была создана еще с советских времен и не требует значительных финансовых вложений, разработка биоэнергетических технологий практически создается с нуля. В настоящее время преобладают местные предприятия с небольшими объемами производства древесного топлива. Одним из видов энергетической древесины является технология заготовки древесной биомассы из пней и корней, осуществляемая на участках первичного использования с рыхлыми минеральными почвами. При этом древесная биомасса заготавливается машинным способом с использованием тракторов общего назначения, оснащенных специальным оборудованием в виде конической фрезы с жидким наполнителем, а повторное измельчение полученного материала производится измельчителем непосредственно у потребителя. В статье представлены результаты исследования энергоемкости процесса измельчения древесины

пней при различных конструктивных характеристиках конических фрез с жидким наполнителем и технологических параметрах процесса измельчения сырья

Ключевые слова: энергоёмкость, процесс измельчения древесины, пни, конусная фреза, жидкий наполнитель

1. Introduction

Experimental studies were carried out to determine optimal modes of stump wood grinding with cutters of different design depending on technological parameters of cutting in simulated conditions identical to the real process. Analysis of theoretical studies of the process of stump wood grinding with a conical cutter showed that the following parameters have the greatest influence on the energy intensity of the cutting process: cutting width, cutting speed and cutting tool feed [1,2].

Values of the most significant factors influencing the energy intensity of the process of stump wood grinding with different design characteristics of conical cutters and technological parameters of the cutting process were determined on the basis of conducted researches of works devoted to the processes of stump wood cutting by conical cutters and our own theoretical studies [3,4,5].

Carried out researches have shown, that they are in the following limits: width of a cutting edge of the cutter, m - b (0,003-0,004); feed, m- S (0,002-0,006); speed of cutting, m/z - v (1,5-2,0). In order to study the influence of factors affecting the energy intensity of the stump wood grinding process with different design characteristics of the cutters of conical cutters and technological parameters of the cutting process, laboratory studies were conducted by the method of multifactor planning of the experiment [6,7,8].

To obtain a mathematical model of the technological process of stump wood chopping we carried out the full factorial experiment 2^2 . As a result of the plan of multifactorial experiment of studying the effect of technological modes of stump wood cutting at different width of the cutter on the cutting force component R_x , its values were obtained [9,10,11]

2. Materials and methods

To carry out experimental researches on studying changes of energy intensity of the process of stump wood grinding at various design characteristics of cutters of cone milling cutter and technological parameters of cutting process we made cutters with various angles of sharpening and dimensions. Laboratory researches were carried out at the following parameters of cutters and modes of stump wood cutting: angle of cutter-- 38° - 40° ; back angle of cutter- 7° - 10° ; width of cutting edge of cutter - 30-40 mm; angle of cutting- 45° - 50° ; angle of cutter installation- 45° ; advancement- 2-6 mm; speed of cutting- 1,5-2,0 m/s. A new design of disk chipper (figure 1) was chosen as the object of research [3,4].

To conduct laboratory research, a stump wood sample was fixed on the lathe equipment and turned with the specified cutting modes by means of the lathe controls (Fig. 1). The value of circumferential component of cutting force R_x was

taken from strain gauges located on a dynamometer pad, which was fed to a strain gauge ZET 017-T8.

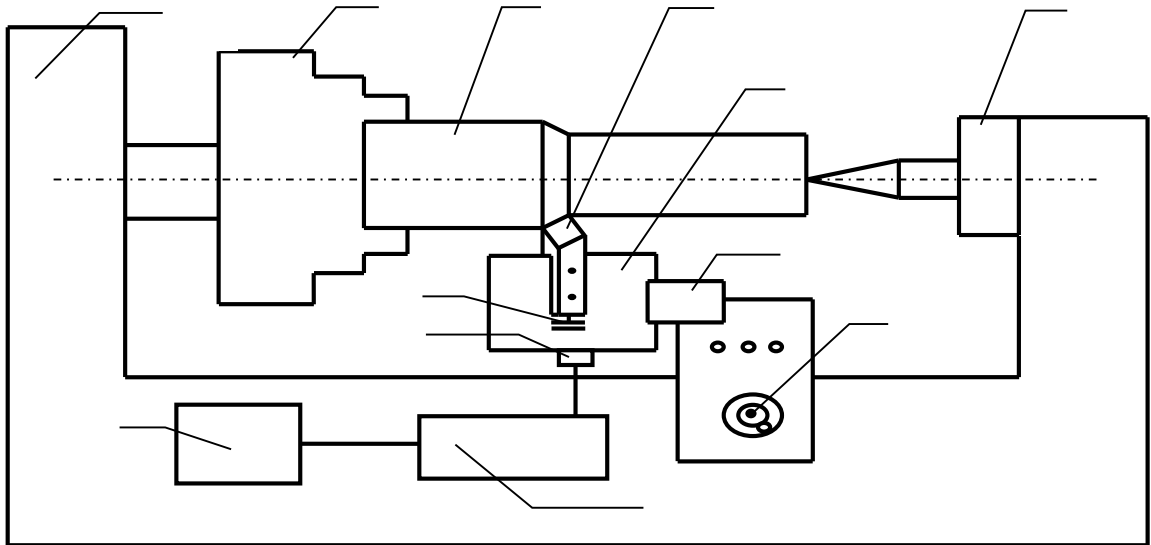


Figure 1. Schematic diagram of laboratory setup on the base of lathe JET BD-920W 321373M (Germany): 1-turning lathe JET BD-920W 321373M (Germany); 2-spindle; 3-sample of wood; 4-backhead of machine; 5-parameter; 6- dimensional platform; 7-tensometer sensor; 8-socket; 9 - gauge station ZET 017-T8; 10 - personal computer; 11 - slide; 12 - control knob

A steel plate with glued strain gauges (measuring and auxiliary) was used to make a dynamometer pad (Figure 2). Before gluing the strain gauges, the surface of the metal plate was thoroughly cleaned and degreased. After the glue dried, the wires were soldered to the contact pads of the strain gauges.

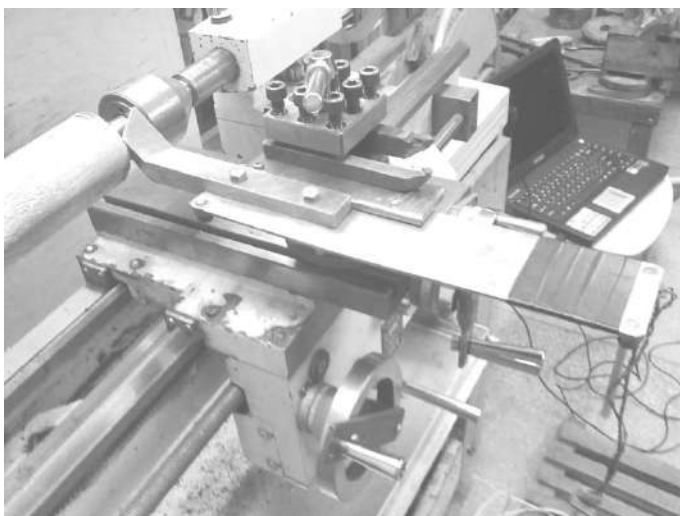


Figure 2. General view of the torque pad attached to the lathe slide

Processing of the results of the study of changes in the energy intensity of the process of stump wood grinding with different design characteristics of cone cutters

and technological parameters of the cutting process was carried out with the help of the "Statistica" program [12, 13].

3. Results

After conducting the regression analysis we obtained the equations evaluating the influence of technological modes of stump wood cutting at different width of cutter on the cutting force component R_x . As a result of mathematical processing of the experimental results it has been established that the dependence of the influence of technological modes of stump wood cutting at different width of the cutter on the cutting force component R_x is described by the regression equation of the form:

$$R_x = 6,43 - 0,41 \ln v + 0,74 \ln S \quad (1)$$

Evaluation of the coefficients of equation 1, shows that the coefficients of the factors influencing the cutting force component R_x are closely related to each other (correlation coefficient $R > 0.97$). These equations describe more than 95% of values (coefficient of determination $R_1 > 0.95$). Analysis of equation coefficients by t-criterion shows significance on 5 % of factors of cutting speed (v) and feed (S). The analysis of regression equation coefficients showed their significance by F -criterion and p -level.

By means of the equation 1 the graphic dependence of technological modes of stub wood cutting at various width of the cutter, influencing on the cutting force component R_x (figure 3) is received. Having analyzed graphic dependences of technological modes of stump wood cutting at the various width of cutter, influencing upon the component of cutting force R_x (Figures P.49,50) we can draw a conclusion that with increase of cutting speed at the invariable value of feed we can decrease the component of cutting force R_x from 731,6 N up to 571,3 N (in 1,2 times) at width of cutter 30 mm and from 975,5 up to 742,7 N (in 1,3 times) at width of cutter 40 mm.

At invariable values of cutting speed and increase of feed there is considerable increase of cutting force component R_x from 731,6 N up to 1762,4 N (2,4 times) at width of 30 mm and from 975,5 N up to 2114,9 (2,1 times) at width of 40 mm. At decrease in cutting speed and increase of feed rate values of cutting force component R_x increase from 731,6 N up to 1317,9 N (1,8 times) at width of cutter 30 mm. Values of the cutting force component R_x at the similar technological parameters with the increase of the cutter width from 30 to 40 mm increase from 731,6 N to 975,5 N (1,4 times).

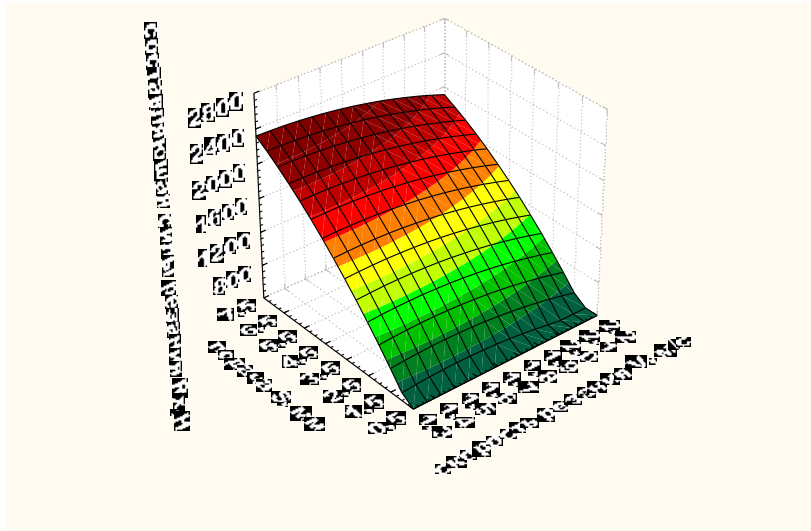


Figure 3. Dependence of the influence of technological modes of stump wood cutting at a cutter width of 40 mm on the cutting force component R_x

Studies of the influence of technological modes of stump wood cutting on the specific value of the cutting force component $R_{x.oud}$ showed that it is described by a regression expression of the form:

$$R_{x.yd} = 6,43 - 0,41 \ln v + 0,74 \ln S \quad (2)$$

Evaluation of the coefficients of equation 2, shows that the coefficients of the factors affecting the cutting force component $R_{x.ud}$ are closely related to each other (correlation coefficient $R > 0.99$). These equations describe over 98% of values (coefficient of determination $R_1 > 0.98$). The analysis of the response surface shown in Figure 4 allows us to conclude that the lowest specific value of the cutting force component $R_{x.ode}$ has the following cutting modes: cutting speed v , m/cm- 1,5-2,2; feed rate S , mm- 0,5 to 1,5.

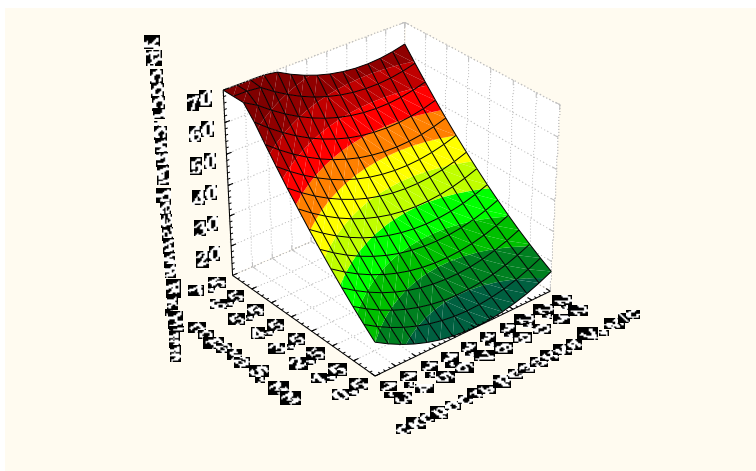


Figure 4. Dependence of the influence of technological modes of stump wood cutting on the specific value of the cutting force component R_x

4. Conclusion

Conducted researches of influence of technological modes of stump wood cutting at different width of cutter on the component of cutting force R_x allow to make about that for reduction of power consumption of process of cutting of cone cutter with liquid filler for stump grinding at its designing it is expedient to use cutters of width 30 mm with angle of sharpening 38° - 40° and back angle of cutter

7° -10°. Thus the ratio of technological parameters should be as follows: feed, m - S (0,0015-0,0022); cutting speed, m - v (1, 5-2,2).

References

1. Fokin S. V. and Shportko O.N. Justification of the design of milling machines to obtain biofuel in the forests of the steppe and forest-steppe zones of the Volga region - *journal "Actual directions of scientific research of the XXI century"*. - 2014.- Vol.5 № 3 (10)-P.156-160.
2. Morkovina S.S., Drapalyuk M.V. and Baranova E.V. Innovative technologies in silviculture: reality and prospects. *Journal of "Forest Engineering Journal"*, 2015. T. 5. № 3 (19). P. 327-338.
3. Druchinin D.Y. and Pozdnyakov E.V. Peculiarities of forestry machinery in clearcuts. *Journal of coniferous boreal zone*, 2019. T. 37. № 6. P.448-454.
4. Zorin V. Y. Criteria and methods of assessing the quality of sorting wood chips - *Journal of "Pulp, Paper, Cardboard"* - 1976. - № 8. P. 10.
5. Karamantsev B.V. Rooting stumps of large diameters - *Journal "Technics in agriculture"*. - 1972. - № 4. P. 37-39.
6. Fokin S. V. and Shportko O.N. The main environmental and forestry technical requirements for milling machines for wood chopping. *Actual directions of scientific research of the XXI century*. 2015. T. 3. № 2-1 (13-1). P. 144-146.
7. Afifi. A. and Eisep S. Statistical analysis. A computer-assisted approach - M. : The World, 1982. - 168 p.
8. Borovikov V. P. STATISTIKA program for students and engineers - Moscow : Computer Press, 2001. - 301 p.
9. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility To cite this article: S. Fokin et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 723042025.
10. Kovalev O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method Proc. of Summer School - *Conference "Advanced Problems in Mechanics"*. - St. Petersburg, 2013. - P. 285-291.
11. Platonova M.A., Drapalyuk M.V. and Platonov A.A. Dynamic model of interaction of rotary working body with wood and shrub vegetation. *Journal of Forest Engineering*, 2015. T. 5. № 4 (20). P. 201-208.
12. Bereznikov S.V. and Fokin S.V., On conducting an automated analysis of the energy characteristics of the process of cutting wood disc chipper. *Journal of Fundamental Research*, 2013. № 10. P. 2182-2187.
13. Sergeev V. V., Korostelev S. Yu. and Psakhie S. G. Point localization algorithms in three-dimensional space for generating an object in particle method modeling. *Journal of the Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, 2008. T. 312. № 5. P. 44-47.
14. Gerasimov A.V. and Cherepanov R.O. Development of an algorithm for calculating the conditions at the free and contact boundaries in modeling the deformation of materials by SPH. *Journal "Izvestiya vuzov. Physics"*, 2009. № 7/2. P. 64-69.

15. Drapalyuk M.V. and Polev V.S. Modeling the chopping elements of chain saws - journal "Proceedings of Higher Educational Institutions. Forestry Journal." - 2010. - № 6. P. 94-98.
16. Kozhukhov N. I. Forestry in the system of the forest sector of the Russian economy - Journal "Forestry" - 2002. - № 5. P. 10-11.
17. Fokin S. V. On conducting laboratory tests of a model sample of a conical cutter with liquid filler for stump grinding - the journal "Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov" - 2007. - № 3. P. 65-68.
18. Tsyplakov V.V and Grishin Y.M. About the cutter feeding during stump milling - collection of scientific works "Forestry and agroforestry" - Saratov State Agrarian Academy named after N.I. Vavilov. - Saratov, 1994. P. 132-138.
19. Shegelman I.R., Vasiliev S.B. and Lapatin A. Mobile choppers: justification of parameters and technological calculations /Petrozavodsk: PetrSU Publishing House, 1998. - 43 p.

Список литературы

1. Fokin S. V. and Shportko O.N. Justification of the design of milling machines to obtain biofuel in the forests of the steppe and forest-steppe zones of the Volga region. *Actual directions of scientific research of the XXI century.* - 2014.- Vol.5 № 3 (10)-P.156-160.
2. Morkovina S.S., Drapalyuk M.V. and Baranova E.V. Innovative technologies in silviculture: reality and prospects. *Journal of "Forest Engineering Journal"*, 2015. T. 5. № 3 (19). P. 327-338.
3. Druchinin D.Y. and Pozdnyakov E.V. Peculiarities of forestry machinery in clearcuts. *Journal of coniferous boreal zone*, 2019. T. 37. № 6. P.448-454.
4. Zorin V. Y. Criteria and methods of assessing the quality of sorting wood chips - *Journal of "Pulp, Paper, Cardboard"* - 1976. - № 8. P. 10.
5. Karamantsev B.V. Rooting stumps of large diameters - *Journal "Technics in agriculture"*. - 1972. - № 4. P. 37-39.
6. Fokin S. V. and Shportko O.N. The main environmental and forestry technical requirements for milling machines for wood chopping. *Actual directions of scientific research of the XXI century.* - 2015. T. 3. № 2-1 (13-1). P. 144-146.
7. Afifi. A. and Eisep S. Statistical analysis. A computer-assisted approach - M. : The World, 1982. - 168 p.
8. Borovikov V. P. STATISTIKA program for students and engineers - Moscow : Computer Press, 2001. - 301 p.
9. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility To cite this article: S. Fokin et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 723042025.
10. Kovalev O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method Proc. of Summer School - Conference "Advanced Problems in Mechanics". - St. Petersburg, 2013. - P. 285-291.

11. Platonova M.A., Drapalyuk M.V. and Platonov A.A. Dynamic model of interaction of rotary working body with wood and shrub vegetation. *Journal of Forest Engineering*, 2015. T. 5. № 4 (20). P. 201-208.
12. Bereznikov S.V. and Fokin S.V., On conducting an automated analysis of the energy characteristics of the process of cutting wood disc chipper. *Journal of Fundamental Research*, 2013. № 10. P. 2182-2187.
13. Sergeev V. V., Korostelev S. Yu. and Psakhie S. G. Point localization algorithms in three-dimensional space for generating an object in particle method modeling. *Journal of the Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, 2008. T. 312. № 5. P. 44-47.
14. Gerasimov A.V. and Cherepanov R.O. Development of an algorithm for calculating the conditions at the free and contact boundaries in modeling the deformation of materials by SPH. *Journal "Izvestiya vuzov. Physics"*, 2009. № 7/2. P. 64-69.
15. Drapalyuk M.V. and Polev V.S. Modeling the chopping elements of chain saws - *journal "Proceedings of Higher Educational Institutions. Forestry Journal."* - 2010. - № 6. P. 94-98.
16. Kozhukhov N. I. Forestry in the system of the forest sector of the Russian economy - *Journal "Forestry"* - 2002. - № 5. P. 10-11.
17. Fokin S. V. On conducting laboratory tests of a model sample of a conical cutter with liquid filler for stump grinding - *the journal "Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov"* - 2007. - № 3. P. 65-68.
18. Tsyplakov V.V and Grishin Y.M. About the cutter feeding during stump milling - collection of scientific works "Forestry and agroforestry" - Saratov State Agrarian Academy named after N.I. Vavilov. - Saratov, 1994. P. 132-138.
19. Shegelman I.R., Vasiliev S.B. and Lapatin A. Mobile choppers: justification of parameters and technological calculations /Petrozavodsk: PetrSU Publishing House, 1998. - 43 p.

Fokin S.¹, Shportko O.², Fomina O.³

¹*Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilova,
Saratov,*

²*Gagarin Saratov State Technical University, Saratov,*

³*State Agrarian University of the Northern Trans-Urals,
Tyumen*

On the creation of a model device for the collection of chips obtained from stumps with a conical cutter with a liquid filler

Abstract. The analysis of designs of machines for stump clearing has shown that milling tools are the most widespread for this technological technique. In production conditions disc and conical cutters with horizontal and vertical feed are used. During operation, the vertical disc milling cutter deepens into the soil less than half of its diameter. Therefore, in order to shred the stump the vertical disc cutter has to cut slots from four sides, making additional maneuvers for this purpose, which requires free space on all sides of the stump, as well as time consumption for moving, which reduces the productivity of the machine. Chips obtained by stump shredding are scattered over considerable distances and have a small fraction, which makes it difficult to collect. Therefore, the use of this design for stump grinding for the purpose of fuelwood collection is inexpedient. Machines for stump milling, equipped with the working body in the form of conical mills with horizontal feed can shred stumps to the soil level. The resulting stump is transported over considerable distances due to the specifics of the milling cutter. In the remaining after the shredding underground part of the stump is a significant stock of wood, which indicates the ineffectiveness of the implementation of technological reception by this type of machines. Machines for stump milling, equipped with a working body in the form of conical cutters with vertical feed can shred stumps to a greater depth than the vertical cutters. The underbelly hole that remains in place of the shredded stump has a cone shape with the top pointing downwards. The chips formed during stump grinding are mostly located around the perimeter of the pit. The chips do not move with the soil and are on its surface, which allows them to be collected and used as biofuel.

Key words: modular device, chip collection, cone cutter, liquid filler⁶⁷

¹Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова, Саратов
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина, Саратов,
³ Государственный аграрный университет Северного
Зауралья, Тюмень

О создании модельного устройства для сбора щепы, полученной из пней, с помощью конусной фрезы с жидким наполнителем

1. Introduction

On the basis of the conducted analysis of the main biometric parameters of the forest residues from logging operations in the forests of steppe and forest-steppe zones of the Volga region, it is possible to conclude that for qualitative grinding of stumps and obtaining fuel chips from them, it is advisable to use the working body in the form of a conical cutter [1,2,3]. Since the conical cutter must shred the maximum number of stumps in clearcuts per pass, it is advisable to take its diameter larger than the average stump diameter and equal to 400 mm, with a larger number of passes it is possible to shred stumps of larger diameter.

Stumps of hardwood species with complex shape of end cut are widespread in forests of this region. Therefore cone cutter should be equipped with damping devices in the form of liquid filler. In accordance with the specifics of stump grinding with this working tool it is necessary to carry out vertical feed with the help of pull rods. Depending on the equipment of the cutter with different types of centering elements, the stump grinding machine may be equipped with a hydraulic system with a safety throttle valve [4,5], which regulates the feeding speed of the cutter and the rapid return of the working body to the transport position

2. Materials and methods

In the model it was necessary to provide the possibility of continuous correction of the stump shape during the computer simulation of its milling. In addition, the separation of chips from the stump and their further movement in space should be reproduced (to simulate the chipping device). For this purpose, according to the finite-element approach [6], the stump is represented as a set of a large number of elementary spheres of small diameter interacting with each other.

To implement the previously described design scheme, a stump grinding machine [7,8] (figure 1) may include the following basic assemblies: a linkage system, a cardan shaft, a gearbox, a conical cutter with a liquid filler. The stump grinding technology of this machine is carried out as follows. The working body by maneuvering the tractor is set over the center of the stump.

It then moves from the transport position to the working position with the help of a tractor linkage system, i.e. the centring element of the mill makes contact with the stump surface. After the rotary motion of the mill from the drive shaft through

the gearbox, the stump grinding process begins. Stump grinding is completed when the above-ground part of the stump and its remains do not represent an obstacle for the machine and tractor units movement. After that the movement of the working body stops and it returns to the transport position with the help of rods [9,10].

Chips are collected, if necessary, by means of a screen chipper installed on the cutter, which includes a metal frame covered with a metal mesh screen. In this case the frame of the chipper with a coupling as the stump is being chopped is lowered to the soil surface, accumulating chips and lumpy waste inside the metal frame, covered with a metal mesh grid.

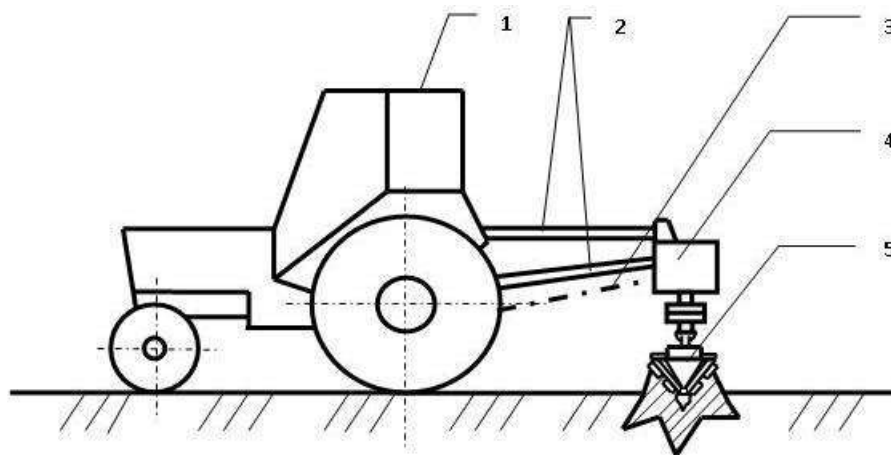


Figure 1. Schematic diagram of the stump grinding machine: 1-tractor; 2-traction system; 3-propeller shaft; 4-gearbox; 5-cone milling machine with liquid filler for stump grinding

3. Results

As part of the model, it was necessary to represent the surface of the chipper (figure 2, a), which rotates with the cutter and limits the movement of the separated elements of the stump (chips). The surface of the chipper is represented, within the framework of the general methodology of modeling, as a set of 18 elementary triangles (figure 2, b). To build the surface, 13 points $P_{70} \dots P_{82}$ (in the model they are numbered from 70 to 82) [11,12,13].

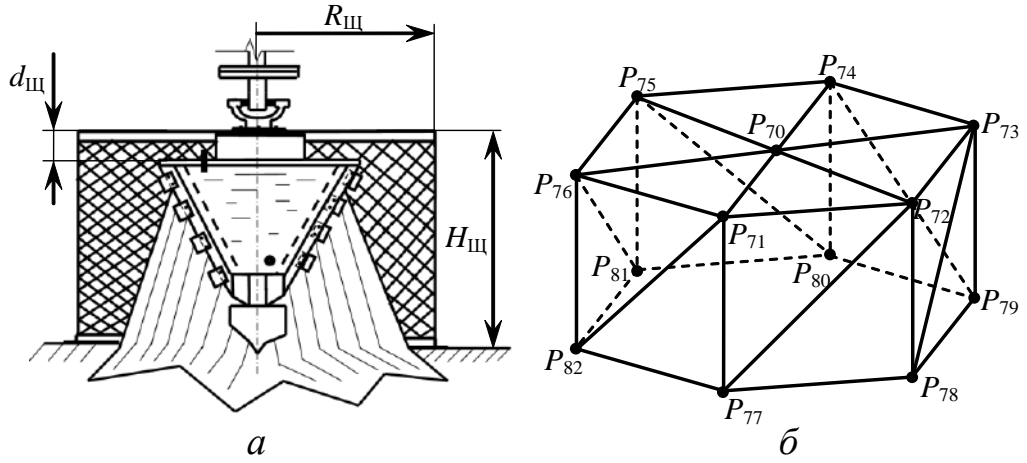


Figure 2. Diagram of the chip collector (a) and the representation of the surface of the chip collector in the model in the form of 18 elementary triangles (b)

The point P_{70} was located on the mill axis and had coordinates $((x_B + N_{2x} \cdot d_{III}, y_B + N_{2y} \cdot d_{III}, z_B + N_{2z} \cdot d_{III})$, where N_{2x}, N_{2y}, N_{2z} are coordinates of basis vector, directed parallel to mill axis; d_{III} is distance from the upper plane of mill to the upper plane of wood chip catcher. To create the upper surface of the chipper perpendicular to the cutter axis, six points P_{70} were distributed around point $P_{71} \dots P_{76}$:

$$\begin{cases} x_{P_{70+i}} = x_{P_{70}} + N_{1x} R_{\dot{U}} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3x} R_{\dot{U}} \sin(2\pi/6 \cdot i); \\ y_{P_{70+i}} = y_{P_{70}} + N_{1y} R_{\dot{U}} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3y} R_{\dot{U}} \sin(2\pi/6 \cdot i); \\ z_{P_{70+i}} = z_{P_{70}} + N_{1z} R_{\dot{U}} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3z} R_{\dot{U}} \sin(2\pi/6 \cdot i), \end{cases} \quad (1)$$

where $i = 1 \dots 6$ - sets the point number; N_{1x}, N_{1y}, N_{1z} и N_{3x}, N_{3y}, N_{3z} - coordinates of basis vectors \vec{N}_1 and \vec{N}_3 ; R_{III} - radius of the chipper cylinder.

To create the side cylindrical surface of the chipper, six more points $P_{77} \dots P_{82}$ were distributed in space, the coordinates of which were calculated by the formula:

$$\begin{cases} x_{P_{76+i}} = x_{P_{70}} + R_{\dot{U}} (N_{1x} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3x} \sin(2\pi/6 \cdot i) + N_{2x} (p_{\dot{U}} - H_{\dot{U}})); \\ y_{P_{76+i}} = y_{P_{70}} + R_{\dot{U}} (N_{1y} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3y} \sin(2\pi/6 \cdot i) + N_{2y} (p_{\dot{U}} - H_{\dot{U}})); \\ z_{P_{76+i}} = z_{P_{70}} + R_{\dot{U}} (N_{1z} \cos(2\pi/6 \cdot i) + N_{3z} \sin(2\pi/6 \cdot i) + N_{2z} (p_{\dot{U}} - H_{\dot{U}})), \end{cases} \quad (2)$$

where H_{III} - the height of the chipper cylinder.

Using the accepted designations, the upper surface of the chipper consists of triangles $P_{71}P_{70}P_{72}, P_{72}P_{70}P_{73}, P_{73}P_{70}P_{74}, P_{74}P_{70}P_{75}, P_{75}P_{70}P_{76}, P_{71}P_{70}P_{76}$, the side surface of the cutter consists of triangles $P_{77}P_{72}P_{71}, P_{77}P_{72}P_{78}, P_{78}P_{73}P_{72}, P_{78}P_{73}P_{79}, P_{79}P_{74}P_{73}, P_{79}P_{74}P_{80}, P_{80}P_{75}P_{74}, P_{80}P_{75}P_{81}, P_{81}P_{76}P_{75}, P_{81}P_{76}P_{82}, P_{82}P_{71}P_{76}, P_{81}P_{71}P_{77}$.

In view of the above, the computer program was modified to simulate stump grinding (figure 3). Visual analysis of the machine operation (in the simulation model) showed that the stump elements (chips) separated by the cutter, flying in different directions, hit the surface of the chipper and fall near the stump.

The developed model made it possible to build trajectories of motion of elements separated from the stump. Without a chipper, a significant part of the stump elements are flying in different directions. A chip catcher, even of low height, reflects well the chips moving in vertical direction, thus fulfilling a protective function at the same time.

At the same time, a certain proportion of the chips fly out from under the grid of the chipper and are distributed around the stump over a large area. As the height of the chip collector increases, the area of spreading of chips decreases. If the height of the $H_{III} = 0,5$ m is high enough, practically all chips remain close to the milled stump. Thus, the cutter transforms the stump into a hill of chips.

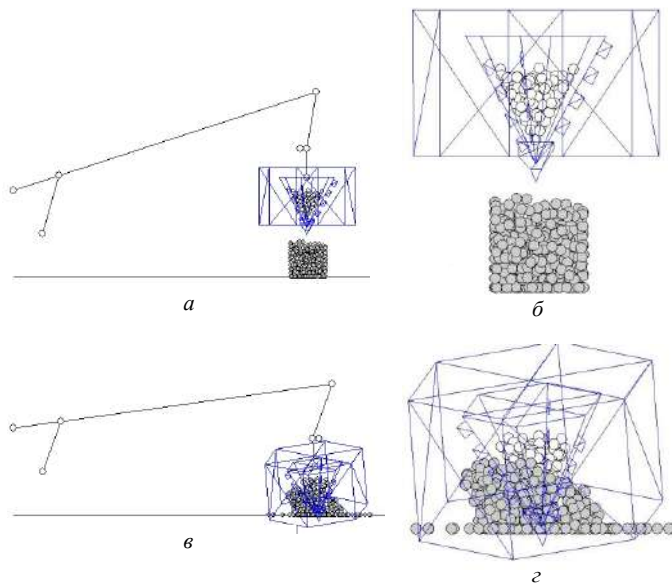


Figure 3. Model of a stump removal machine with a chipper at the start (a, b) and during stump milling (v, g); the whole machine model is shown on the left (a, v), the cutter with the chipper is shown close-up on the right (b, g)

Using the model the density distribution $\sigma(r)$ of wood mass (number of elements per unit area) depending on the distance from the stump axis r was calculated (figure 4). If no wood chip catcher is used (dotted curve), the chips spread over a large area, so near the axis of the chopped stump the wood density is insignificant and slowly decreases with the increase of r . In case of using chip catcher (solid curve), almost all wood chips are collected in the circle of radius R , so the density of wood mass is high at $r < R_{III}$ and almost zero at $r > R_{III}$. Thus, the wood chip catcher effectively prevents the chips from flying apart.

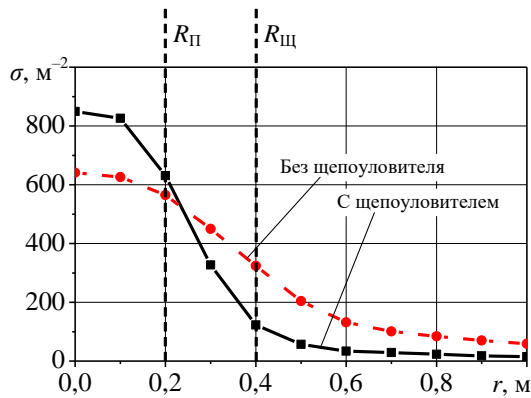


Figure 4. Dependence of wood density (number of wood fragments per unit area σ) on the distance r to the stump axis

The main geometrical parameters of the wood chip collector are its radius R_{III} and height H_{III} . The influence of these parameters on the efficiency of the wood chip collector was studied with the help of the model. In the first series of computer experiments the radius of cylindrical surface R_{III} changed from 0,25 to 1,00 m with the step 0,1 m at constant height of the chipper $H_{III} = 0,5$ m and radius of the shredded stump $R_{II} = 0,2$ m (figure 5).

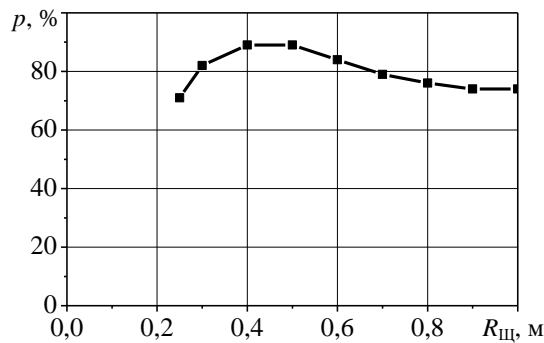


Figure 5. Effect of the radius of the chip collector R_{III} on the fraction p of wood remaining under the chip collector ($H_{III} = 0,5$ m)

A share of wood p , remaining under the chipper makes about 80 %, and its greatest value (89 %) is reached at $R_{III} = 0,4...0,5$ m. At increase in R_{III} , starting from value 0,5 m, a share of wood begins to decrease, as the angular range of directions of chippings flight increases.

In the following series of computer experiments the height of wood chip collector H_{III} changed from 0,0 to 0,6 m at constant values of stump radius $R_{II} = 0,2$ m and radius of wood chip collector $R_{III} = 0,4$ m. The graph of dependence $p(H_{III})$ has a sigmoidal form (Fig. 6).

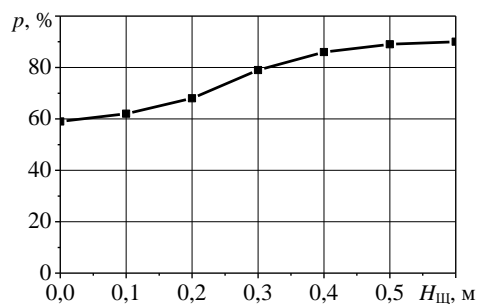


Figure 6. Effect of the radius of the chip collector R_{III} on the fraction p of wood remaining under the chip collector ($H_{III} = 0,5$ m)

At practically absent side surface of the chipper ($R_{III} < 0,2$ m) the share of wood, remaining under the chipper cylinder makes about 60 %, thus the rest part flies away in the lateral direction. As the height of the cylindrical surface increases, an increasing proportion of wood chips cannot leave the chipper, and falls to the surface under it. Starting with $H_{III} = 0,5$ m, the chipper collects almost all the chips (more than 90%).

4. Conclusion

Thus, the created model of the device for the collection of chips obtained from stumps with the help of a conical cutter with liquid filler allowed to determine the best parameters of the chipper, included in the equipment for the collection of stump wood chipping products have the following values: radius of the chipper - 0,4 m; height of the chipper - 0,5 m.

References

1. Platonova M.A., Drapalyuk M.V. and Platonov A.A. Dynamic model of interaction of rotary working body with wood and shrub vegetation. *Journal of Forest Engineering*, 2015. T. 5. № 4 (20). P. 201-208.
2. Morkovina S.S., Drapalyuk M.V. and Baranova E.V. Innovative technologies in silviculture: reality and prospects. *Journal of "Forest Engineering Journal"*, 2015. T. 5. № 3 (19). P. 327-338.
3. Druchinin D.Y. and Pozdnyakov E.V. Peculiarities of forestry machinery in clearcuts. *Journal of coniferous boreal zone*, 2019. T. 37. № 6. P.448-454.
4. Zorin V. Y. Criteria and methods of assessing the quality of sorting wood chips - *Journal of "Pulp, Paper, Cardboard"* - 1976. - № 8. P. 10.
5. Karamantsev B.V. Rooting stumps of large diameters - *Journal "Technics in agriculture"*. - 1972. - № 4. P. 37-39.
6. Fokin S. V. and Shportko O.N. The main environmental and forestry technical requirements for milling machines for wood chopping- *journal "Actual directions of scientific research of the XXI century"* - 2015. T. 3. № 2-1 (13-1). P. 144-146.

7. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility
To cite this article: S. Fokin et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 723042025.
8. Kovalev O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method Proc. of Summer School - *Conference "Advanced Problems in Mechanics"*. - St. Petersburg, 2013. - P. 285-291.
9. Suravkin A.Yu. Implementation of SPH method on CUDA for modeling incompressible fluids. *Journal of Science and Education*, 2012. №7. P.87-106.
10. Berezников S.V. and Fokin S.V., On conducting an automated analysis of the energy characteristics of the process of cutting wood disc chipper. *Journal of Fundamental Research*, 2013. № 10. P. 2182-2187.
11. Sergeev V. V., Korostelev S. Yu. and Psakhie S. G. Point localization algorithms in three-dimensional space for generating an object in particle method modeling. *Journal of the Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, 2008. T. 312. № 5. P. 44-47.
12. Gerasimov A.V. and Cherepanov R.O. Development of an algorithm for calculating the conditions at the free and contact boundaries in modeling the deformation of materials by SPH. *Journal "Izvestiya vuzov. Physics"*, 2009. № 7/2. P. 64-69.
13. Drapalyuk M.V. and Polev V.S. Modeling the chopping elements of chain saws - *journal "Proceedings of Higher Educational Institutions. Forestry Journal."* - 2010. - № 6. P. 94-98.
14. Potapov A.P. and Petrov I.B. Modeling of wave processes during high-speed collisions by method of smoothed particles (SPH). *Journal "Bulletin of the I. Kant Russian State University"*, 2009. № 10. P. 49-55.
15. Davydov M.N. and Kedrinsky V.K. Smoothed particle method in the problems of modeling of liquid cavitation fracture under shock-wave loading. *Journal of Applied Mechanics and Theoretical Physics*, 2013. T. 54. № 6. P. 17-26.
16. Lukyanov A.A. and Penkov V.B. Modeling of solid body deformation using gridless methods. *Journal "Vestnik of Samara University. Natural Science Series"*, 2007. № 6 (56). P. 62-70.
17. Shegelman I. R., Vasiliev S.B. and Lapatin A. Mobile choppers: justification of parameters and technological calculations /Petrozavodsk: PetrSU Publishing House, 1998. - 43 p.

Список литературы

1. Platonova M.A., Drapalyuk M.V. and Platonov A.A. Dynamic model of interaction of rotary working body with wood and shrub vegetation. *Journal of Forest Engineering*, 2015. T. 5. № 4 (20). P. 201-208.
2. Morkovina S.S., Drapalyuk M.V. and Baranova E.V. Innovative technologies in silviculture: reality and prospects. *Journal of "Forest Engineering Journal"*, 2015. T. 5. № 3 (19). P. 327-338.

3. Druchinin D.Y. and Pozdnyakov E.V. Peculiarities of forestry machinery in clearcuts. *Journal of coniferous boreal zone*, 2019. T. 37. № 6. P.448-454.
4. Zorin V. Y. Criteria and methods of assessing the quality of sorting wood chips - *Journal of "Pulp, Paper, Cardboard"* - 1976. - № 8. P. 10.
5. Karamantsev B.V. Rooting stumps of large diameters - *Journal "Technics in agriculture"*. - 1972. - № 4. P. 37-39.
6. Fokin S. V. and Shportko O.N. The main environmental and forestry technical requirements for milling machines for wood chopping. *Actual directions of scientific research of the XXI century*. - 2015. T. 3. № 2-1 (13-1). P. 144-146.
7. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility
To cite this article: S. Fokin et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 723042025.
8. Kovalev O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method Proc. of Summer School - *Conference "Advanced Problems in Mechanics"*. - St. Petersburg, 2013. - P. 285-291.
9. Suravkin A.Yu. Implementation of SPH method on CUDA for modeling incompressible fluids. *Journal of Science and Education*, 2012. №7. P.87-106.
10. Berezников S.V. and Fokin S.V., On conducting an automated analysis of the energy characteristics of the process of cutting wood disc chipper. *Journal of Fundamental Research*, 2013. № 10. P. 2182-2187.
11. Sergeev V. V., Korostelev S. Yu. and Psakhie S. G. Point localization algorithms in three-dimensional space for generating an object in particle method modeling. *Journal of the Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, 2008. T. 312. № 5. P. 44-47.
12. Gerasimov A.V. and Cherepanov R.O. Development of an algorithm for calculating the conditions at the free and contact boundaries in modeling the deformation of materials by SPH. *Journal "Izvestiya vuzov. Physics"*, 2009. № 7/2. P. 64-69.
13. Drapalyuk M.V. and Polev V.S. Modeling the chopping elements of chain saws - *journal "Proceedings of Higher Educational Institutions. Forestry Journal."* - 2010. - № 6. P. 94-98.
14. Potapov A.P. and Petrov I.B. Modeling of wave processes during high-speed collisions by method of smoothed particles (SPH). *Journal "Bulletin of the I. Kant Russian State University"*, 2009. № 10. P. 49-55.
15. Davydov M.N. and Kedrinsky V.K. Smoothed particle method in the problems of modeling of liquid cavitation fracture under shock-wave loading. *Journal of Applied Mechanics and Theoretical Physics*, 2013. T. 54. № 6. P. 17-26.
16. Lukyanov A.A. and Penkov V.B. Modeling of solid body deformation using gridless methods. *Journal "Vestnik of Samara University. Natural Science Series"*, 2007. № 6 (56). P. 62-70.
17. Shegelman I. R., Vasiliev S.B. and Lapatin A. Mobile choppers: justification of parameters and technological calculations /Petrozavodsk: PetrSU Publishing House, 1998. - 43 p.

**Жужукин К.В., Дмитренко А.И.,
Ищенко Т.Л., Жужукин Н.В.**
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Возможности применения многостенных углеродных нанотрубок для снижения эмиссии формальдегида из фанеры

Аннотация. Качество воздуха в помещении имеет жизненно важное значение для здоровья человека. Клеи играют решающую роль в экономичном производстве и свойствах древесно-полимерных композитов. Промышленность древесных композитов потребляет большую часть КФ - клеев, производимых во всем мире, и более 90% мировых древесно-полимерных композитов (ДПК) склеиваются с КФ-клеями. Формальдегид, выделяемый изделиями из древесины, известен как одна из основных причин деградации окружающей среды в помещении и тесно связан с возникновением симптомов повреждения слизистой оболочки у пользователей. В связи с чем снижение эмиссии свободного формальдегида является актуальной задачей.

Ключевые слова: формальдегид, токсичность, многостенные углеродные нанотрубки, снижение эмиссии.

**Zhuzhukin K.V., Dmitrenkov A.I.,
Ishchenko T.L., Zhuzhukin N.V.**
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Possibility of using multi-walled carbon nanotubes to reduce formaldehyde emissions from plywood

Abstract. Indoor air quality is vital to human health. Adhesives play a critical role in the economical production and properties of wood-plastic composites. The wood composites industry consumes the majority of CF adhesives produced worldwide, and more than 90% of the world's wood-polymer composites (WPCs) are bonded with CF adhesives. Formaldehyde emitted by wood products is known to be one of the main causes of indoor environmental degradation and is closely associated with the occurrence of symptoms of mucosal damage in users. In this connection, reducing the emission of free formaldehyde is an urgent task.

Keywords: formaldehyde, toxicity, multi-walled carbon nanotubes, emission reduction.

Клеи играют решающую роль в экономичном производстве и свойствах древесно-полимерных композитов. Соответственно, их производительность в основном зависит от типа клея и его качества.

Термореактивные карбамидоформальдегидные (КФ) клеи все чаще используются для производства древесных композитных панелей, таких как ДСП, ДВП средней плотности и фанеры, а также широко применяются в мебельной и строительной отраслях. Промышленность древесных композитов потребляет большую часть КФ - клеев, производимых во всем мире, и более 90% мировых древесно-полимерных композитов (ДПК) склеиваются с КФ-клеями [1]. Термореактивные КФ-клеи представляют собой поликонденсационные смолы, образующиеся в результате реакции формальдегида (CH_2O) и мочевины ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Из-за их таких преимуществ как быстрое отверждение, низкая стоимость, прозрачный цвет [2], растворимости в воде, устойчивость к микроорганизмам и истиранию, легкой адаптируемости, отличной адгезии к дереву [3], подходящей температуры тепловой деформации и высокой прочности на растяжение. [4], КФ-клеи считаются одними из наиболее важных клеев для древесины и широко используются для производства различных древесных композитов [5].

Несмотря на все свои положительные свойства, основными недостатками КФ-клеев являются эмиссия формальдегида (ЭФ) из КФ-скрепленных древесноволокнистых композитов и низкая стойкости к воздействию влаги или воды, особенно при более высоких температурах. Точно так же склонность к гидролизу связи между углеродом метиленового мостика и азотом мочевины приводит к потере прочности связи при производстве плиты и ее эксплуатации в течение всего срока службы [6].

Эти недостатки наложили некоторые ограничения на использование панелей с УФ-смолой для внутреннего применения. Формальдегид, выделяемый изделиями из древесины, известен как одна из основных причин деградации окружающей среды в помещении и тесно связан с возникновением симптомов повреждения слизистой оболочки у пользователей [7]. В связи с растущим беспокойством по поводу загрязнения окружающей среды и ЭФ от древесных композитов, связанных КФ, были предприняты большие усилия по снижению ЭФ от древесно-стружечных плит. К ним относятся переформулировка полимера и частичная замена формальдегида другими альдегидами, замена высвобождающих формальдегид клеев другими типами клеев и разработка полимеров на основе возобновляемых материалов [8]. Включение ловушек формальдегида, таких как танин [9], меламин [10], хитозан [11], амины [12], метабисульфит натрия [13], пропиламин [14] в рецептуру смолы является еще одним широко распространенным способом. используется для снижения содержания свободного формальдегида в композитах с КФ-связью. Адгезивная смола КФ образуется во время стадии кислотной конденсации, как показано на рисунке 1.

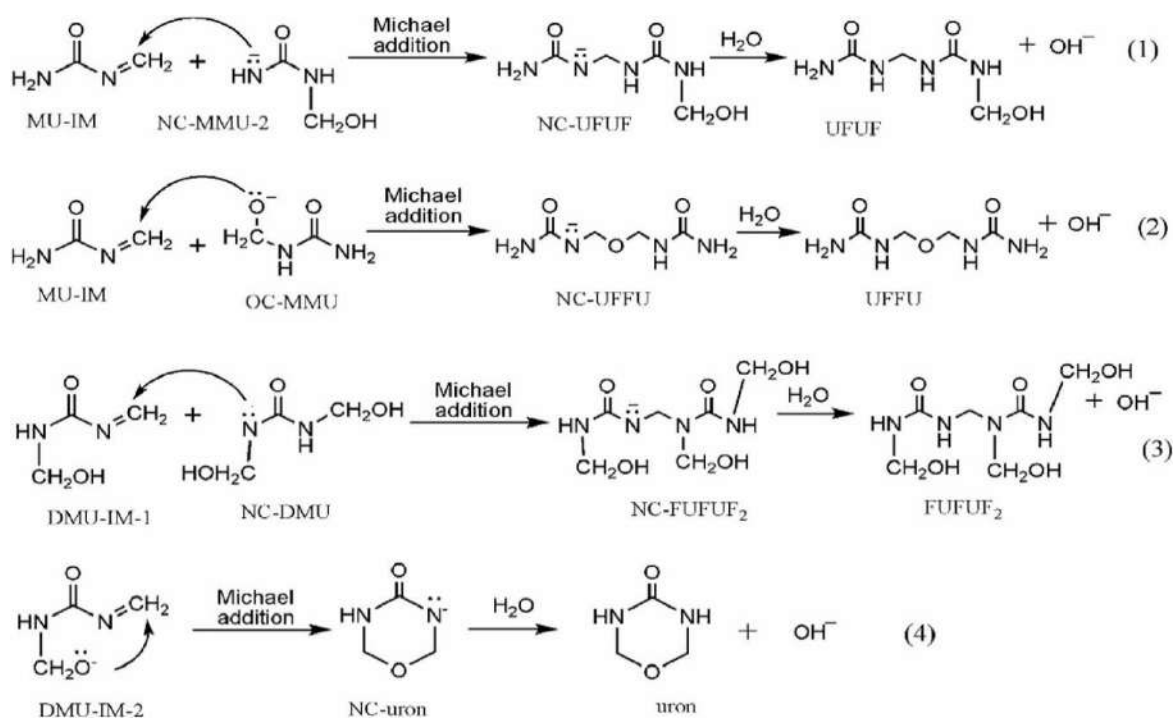


Рисунок 1. Механизм реакций конденсации [15]

В данной работе функционализацию проводили методом химического окисления с помощью азотной кислоты. Около 10,0 г МУНТ добавляли к 2 молям азотной кислоты 68 мас.% в 1000 мл воды и нагревали при 60 °С в течение 5 часов для образования карбоксильной группы на поверхности МУНТ. Затем смесь охлаждали до комнатной температуры и удаляли избыток раствора азотной кислоты, а активированные МУНТ промывали водой до тех пор, пока раствор не становился нейтральным, смесь при этом энергично перемешивают в течение 24 ч при комнатной температуре. Окисленные МУНТ затем очищают экстракцией от остаточных кислот путем повторных циклов разбавления дистиллированной водой и фильтрации растворов до pH примерно 6. После процесса очистки окисленные образцы сушат при 80 °С в течение 12 часов. В работе была использована карбамидоформальдегидная смола марки КФ-Ж. Для получения композиционного состава карбамидоформальдегидной смолы и многостенных углеродных нанотрубок активированные МУНТ смешивали при механическом перемешивании в течение 20 мин при 2000 об/мин со смолой УФ в концентрациях 0,0, 1,0, 1,75, 2,0, 2,5, 3,0 и 4,0 % по массе. В данной работе количество формальдегида определяли с помощью баночного метода (метод WKI). Испытания проводились на образцах фанеры, произведённой по ГОСТ 3916.1-2018 (как контрольный образец) и на образцах фанеры.

На рисунке 2 представлены результаты определения эмиссии формальдегида из образцов фанеры определенной методом WKI и спектрофотометрически при длине волны 480 нм.

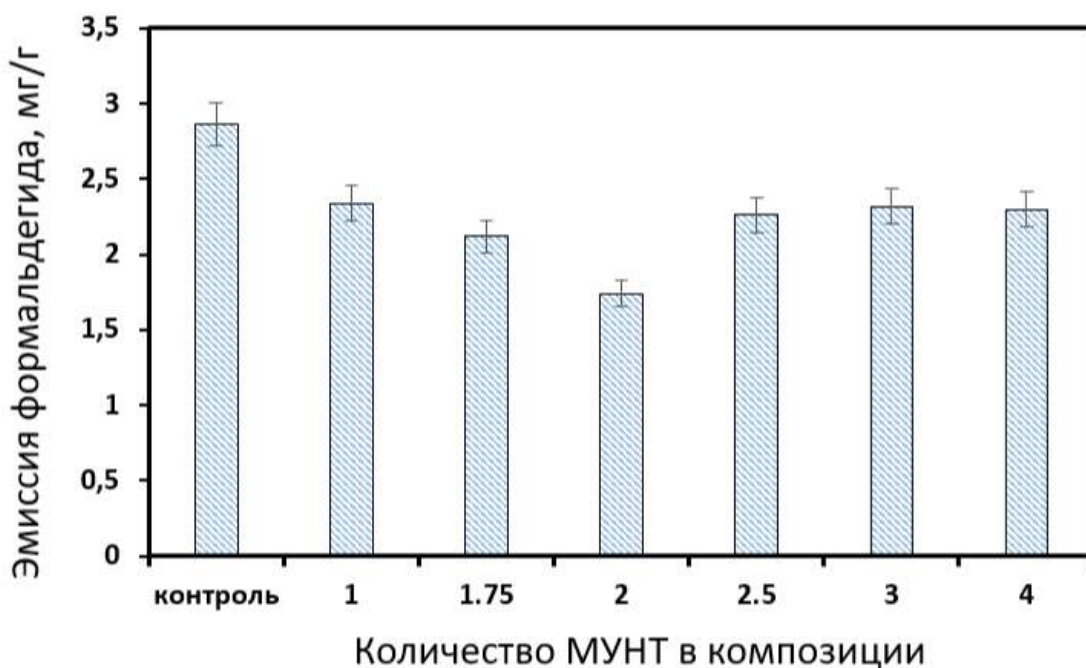


Рисунок 2. Результаты определения эмиссии формальдегида в зависимости от концентрации МУНТ в клеевой композиции в %.

Анализ гистограммы (рисунок 2) показывает, что МУНТ, введенный в состав клея снижает эмиссию формальдегида. Наибольшее снижение наблюдается при использовании концентрации в 2%.

Из результатов предварительного эксперимента видно, что наилучшими свойствами обладает фанера, склеенная с использованием клея с включение относительно небольшого количества МУНТ (2%) при дальнейшем увеличении количества наполнителя эффективность снижения эмиссии формальдегида падет, что может быть связано с коагуляцией дисперсных частиц в виде функционализированных МУНТ в дисперсионной среде.

Список литературы

1. Wang J. et al. Enhancing dielectric performance of poly (vinylidene fluoride) nanocomposites via controlled distribution of carbon nanotubes and barium titanate nanoparticle //Engineered Science. – 2018. – Т. 4. – №. 24. – С. 79-86.
2. Lu X. et al. Polyethylene glycol/carbon black shape-stable phase change composites for peak load regulating of electric power system and corresponding thermal energy storage //Engineered Science. – 2020. – Т. 9. – №. 4. – С. 25-34.
3. Li T. et al. Achieving better greenhouse effect than glass: visibly transparent and low emissivity metal-polymer hybrid metamaterials //ES Energy & Environment. – 2019. – Т. 5. – №. 13. – С. 102-107.
4. Wang Q. et al. Enhanced dielectric properties and energy storage density of PVDF nanocomposites by co-loading of BaTiO₃ and CoFe₂O₄ nanoparticles //Advanced Composites and Hybrid Materials. – 2020. – Т. 3. – №. 1. – С. 58-65.

5. Yan X. et al. Efficient solvent-free microwave irradiation synthesis of highly conductive polypropylene nanocomposites with lowly loaded carbon nanotubes //ES Materials & Manufacturing. – 2020. – T. 9. – №. 15. – C. 21-33.
6. Zhou Y. et al. Recent advances in organic/composite phase change materials for energy storage //ES Energy & Environment. – 2020. – T. 9. – №. 12. – C. 28-40.
7. Qiu Q., Lau D. Defect detection of FRP-bonded civil structures under vehicle-induced airborne noise //Mechanical Systems and Signal Processing. – 2021. – T. 146. – C. 106992.
8. Liao W. et al. Multifunctional lightweight aggregate containing phase change material and water for damage mitigation of concrete. – 2019.
9. Muthukumar M., Mohan D. Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion //European polymer journal. – 2004. – T. 40. – №. 9. – C. 2167-2177.
10. Feng Y. et al. Meta concrete: Exploring novel functionality of concrete using nanotechnology //Engineered Science. – 2019. – T. 8. – №. 2. – C. 1-10.
11. Mehta P. K., Monteiro P. J. M. Concrete: microstructure, properties, and materials. – McGraw-Hill Education, 2014.
12. Gardner D. et al. A survey on problems encountered in current concrete construction and the potential benefits of self-healing cementitious materials //Case studies in construction materials. – 2018. – T. 8. – C. 238-247.
13. Wang J. et al. Mesoscopic finite element simulation on the interfacial bonding performance of functionally gradient concrete //ES Materials & Manufacturing. – 2020. – T. 9. – C. 3-11.
14. Li W. et al. Preparing highly durable bamboo materials via bulk furfurylation //Construction and Building Materials. – 2020. – T. 262. – C. 120726.
15. Li, T.; Cao, M.; Liang, J.; Xie, X.; Du, G. New Mechanism Proposed for the Base-Catalyzed Urea-Formaldehyde Condensation Reactions: A Theoretical Study. *Polymers* 2017, 9, 203. <https://doi.org/10.3390/polym9060203>

References

1. Wang J. et al. Enhancing dielectric performance of poly (vinylidene fluoride) nanocomposites via controlled distribution of carbon nanotubes and barium titanate nanoparticle //Engineered Science. – 2018. – T. 4. – №. 24. – C. 79-86.
2. Lu X. et al. Polyethylene glycol/carbon black shape-stable phase change composites for peak load regulating of electric power system and corresponding thermal energy storage //Engineered Science. – 2020. – T. 9. – №. 4. – C. 25-34.
3. Li T. et al. Achieving better greenhouse effect than glass: visibly transparent and low emissivity metal-polymer hybrid metamaterials //ES Energy & Environment. – 2019. – T. 5. – №. 13. – C. 102-107.
4. Wang Q. et al. Enhanced dielectric properties and energy storage density of PVDF nanocomposites by co-loading of BaTiO₃ and CoFe₂O₄ nanoparticles //Advanced Composites and Hybrid Materials. – 2020. – T. 3. – №. 1. – C. 58-65.

5. Yan X. et al. Efficient solvent-free microwave irradiation synthesis of highly conductive polypropylene nanocomposites with lowly loaded carbon nanotubes //ES Materials & Manufacturing. – 2020. – T. 9. – №. 15. – C. 21-33.
6. Zhou Y. et al. Recent advances in organic/composite phase change materials for energy storage //ES Energy & Environment. – 2020. – T. 9. – №. 12. – C. 28-40.
7. Qiu Q., Lau D. Defect detection of FRP-bonded civil structures under vehicle-induced airborne noise //Mechanical Systems and Signal Processing. – 2021. – T. 146. – C. 106992.
8. Liao W. et al. Multifunctional lightweight aggregate containing phase change material and water for damage mitigation of concrete. – 2019.
9. Muthukumar M., Mohan D. Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion //European polymer journal. – 2004. – T. 40. – №. 9. – C. 2167-2177.
10. Feng Y. et al. Meta concrete: Exploring novel functionality of concrete using nanotechnology //Engineered Science. – 2019. – T. 8. – №. 2. – C. 1-10.
11. Mehta P. K., Monteiro P. J. M. Concrete: microstructure, properties, and materials. – McGraw-Hill Education, 2014.
12. Gardner D. et al. A survey on problems encountered in current concrete construction and the potential benefits of self-healing cementitious materials //Case studies in construction materials. – 2018. – T. 8. – C. 238-247.
13. Wang J. et al. Mesoscopic finite element simulation on the interfacial bonding performance of functionally gradient concrete //ES Materials & Manufacturing. – 2020. – T. 9. – C. 3-11.
14. Li W. et al. Preparing highly durable bamboo materials via bulk furfurylation //Construction and Building Materials. – 2020. – T. 262. – C. 120726.
15. Li, T.; Cao, M.; Liang, J.; Xie, X.; Du, G. New Mechanism Proposed for the Base-Catalyzed Urea–Formaldehyde Condensation Reactions: A Theoretical Study. *Polymers* 2017, 9, 203. <https://doi.org/10.3390/polym9060203>

Ивановский В.П.
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Исследование силовых показателей деления древесины мягких пород дисковыми ножами

Аннотация. Технологический процесс в деревообработке, связанный с деформацией обработки древесины мягких лиственных пород, является прогрессивным. Для определения этого было выполнено несколько конкретных задач. Путем моделирования физических процессов деформирования в древесине мягких лиственных пород учтены определенные особенностей и условия, что наиболее полно отражают математические модели. Через этот инструмент предложен для резания перечень рациональных режимов как итог аналитической обработки контактного взаимодействия инструмента с древесиной в специализированной компьютерной среде. Названы наиболее результативные из технологических операций, а также подготовлены технологические карты, где предписана каждая основная деформирующей обработки мягко-лиственной древесины для механически обрабатываемой древесины. С пересмотром исследовательской методики, определен новый ракурс применения перечисленных технологических процессов – экономичный и эргономичный. С помощью последующего анализа была определена прогрессивность новых разработок, позволяющих проводить деформацию обработки древесины мягких лиственных пород максимально эффективно.

Ключевые слова: мягкие породы, резание, обработка, контактное давление, экспериментальное исследование.

Ivanovskiy V.P.
*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Study of force indicators of soft wood division with disc knives

Abstract. The technological process in woodworking associated with the deformation of the processing of soft hardwood is progressive. Several specific tasks have been carried out to determine this. By modeling the physical processes of deformation in soft deciduous wood, certain features and conditions are taken into account, which is most fully reflected by mathematical models. Through this tool, a

list of rational modes is proposed for cutting as a result of analytical processing of the contact interaction of the tool with wood in a specialized computer environment. The most productive of the technological operations were named, and technological maps were prepared, where each basic deforming treatment of soft-deciduous wood for mechanically processed wood is prescribed. With the revision of the research methodology, a new perspective for the application of the listed technological processes was determined - economical and ergonomic. With the help of subsequent analysis, the progressiveness of new developments was determined, which make it possible to carry out deformation of the processing of soft deciduous wood as efficiently as possible.

Keywords: *soft rocks, cutting, machining, contact pressure, experimental study.*

Введение

В последнее время возникает большая необходимость в изучении и использовании прогрессивных технологических процессов в деревообработке. Так как с помощью них можно значительно упростить процедуры, связанные с обработкой дерева, а также повысить эффективность подобных работ. Мир признает возрастание нехватки древесины, а на первых позициях по дефицитности названы хвойные и твёрдые лиственные породы, что обосновывает пристальное исследование способов внедрить низкосортную мягко-лиственную древесину как сырьё, удовлетворяющее запросы предприятий строительной отрасли и деревообрабатывающего сектора. Отмечены положительные подвижки с ростом объёмов пущенного в переработку ранее признанного низкосортным материала, а мягкие лиственные породы год от года уверенно увеличивают долю. Но мониторинг ситуации в стране позволяет заявить, что на Европейской части использование такого материала неполное, а потери достигают 40 млн. м³.

Причинами стали следующие обстоятельства мягко-лиственная древесина редко находит полное применение и комплексно не используется из-за того, что уступает по физико-механическим свойствам лидирующему по требованиям промышленности сырью из хвойных пород, технологической неготовностью специализироваться на переработке отходов, отсутствием научных обоснований и техники, чтобы добиться эффективности режима обрабатывающей деятельности.

Сегодня только заготовки являются выходом комплексной переработки мягко-лиственной древесины с высокими экономически-эффективными показателями объёмного выхода, тогда как получение технологической щепы признано продуктом с максимальным эффектом, получаемым из отходов.

Участие науки в модифицировании древесины вместе с внедрением методик и технологий для использования пород быстрорастущих, но малоценных, усилено тенденциями к безотходности производственного процесса. В настоящий момент отрасль четко позиционирует приоритеты для перспективы: применять механизацию так, чтобы лесным ресурсам, несмотря на промышленное использование, гарантировать максимальную сохранность.

Необоснованно ожидать, что обработку древесины операцией резания заменит иной способ, потеснит с позиции ведущего в производстве на стадии разделительных и штамповочных процессов. Однако механическую обработку современные производители успешно осуществляют нестандартными методами, а среди наиболее экономичных выделяется бесстружечное резание. Способ демонстрирует эффективность и рациональность с целью произвести деформирующую обработку древесины, поднимает такие первостепенные показатели деревообрабатывающей отрасли как производительность и уровень качества.

В России лесные ресурсы используются крайне неудовлетворительно, а также продукция не способна конкурировать на мировых рынках из-за некачественно выполненных на стадии обработки операций. Статистика констатирует, что весь объем пущенной в переработку древесины можно представить несколькими долями: тонкомерное сырье мягких лиственных пород определяется порядка 30%, а еще 30% от всего объема произведенной теряется со стружкой и опилками [1-4]. Интерес к быстрорастущим мягколиственным породам вызывают альтернативы рационального использования, чтобы подобная древесина начала достойно конкурировать с красным деревом, буком, грушей, березой и вытеснила эти твердые породы из рядов традиционного сырья. Это произведет технологическую революцию для предприятий, освоивших промышленное производство мебели и декоративных элементов, востребованных в строительстве столярных изделий.

Промышленность к сегодняшнему дню освоила бесстружечное ножевое резание, а широко используются такие виды путем: бесстружечного разделения (с применением прямолинейных ножей), раскряжевки и проката. Проблемно, что оборудование и технологию, на котором древесину подвергают деформирующей обработке, называют несовершенными, а все чаще поднимается вопрос о комплексном решении проблемы. В настоящее время исследователи признают, что низкосортную древесину в плане свойств как деформационно-прочностных, так и конструкционных проявляет значительную пластичность, отличается специфической реологией, чего нельзя утверждать о твердо-породной древесине и любом плитном древесном материале. Древесина расходуется предельно экономно, поскольку производитель останавливается из всех типов разделения именно на пластическом и обрабатывает заготовку, не отличающуюся сложностью формы до на порядок более серьезной детали, но не теряет объем. Операции прямолинейного разделения и пространственного деформирования отличает высокая скорость, малое число шагов для преобразования заготовки в готовое изделие. В итоге рабочий цикл не продолжительный. Кроме того, разделение древесины как процесс выгодно не только высокой производительностью, но с незначительной энергоемкостью, выпуском поверхностей с высоким качеством обработки. Между тем, конструкционно неготовым к освоению деформирующей обработки оказался инструментарий, поскольку деревообрабатывающее производство не ориентировало оборудование и

устройства на использование такого сырья [5-6]. Внедрение деформирующей обработки усложняет и отсутствие однозначных рекомендаций для выбора режима, равно как и не перечислены весомые внешние факторы.

Цель исследования заключается в необходимости изучить прогрессивные технологические процессы в деревообработке. Так как с помощью них можно значительно упростить процедуры, связанные с обработкой дерева, а также существенно повысить эффективность подобных работ.

Материалы и методы

Взаимодействие инструмента и древесины нуждается в анализе возникающей силы, материал для которого решено собрать, проведя экспериментальное исследование типовых элементов рельефов, а также оговорив, что древесина подвергается прямому и косому смятию. Во внимание при обработке примем функциональную зависимость:

$$P_{сж} = f(h, \rho, W, T, \alpha); \quad (1)$$

где: h – метка глубины, до которой внедряется пуансон;

ρ - значение плотности и W – влажности древесины;

T – разогрев пуансона до заданной температуры;

α - угол, под которым сходятся волокна заготовки и рабочей поверхности режущего конуса на инструменте (в случае косо́го смятия рассматривают иной угол - «атаки»).

Современные программные продукты являются средствами для калькуляции фактора, прежде всего несущего разрушение: внешнее усилие. С ростом сжимающего напряжения древесина теряет предельную прочность (из-за значительной деформации сжимаемого изделия оно становится менее прочным). Показатель прочности требует разностороннего анализа, поскольку на деформируемую древесину воздействие основного разрушающего механизма дополняют и другие виды разрушения: поверхностное и по волокнам. Но разрушение и того, и другого вида исключается, если определить режим и метод, чтобы соответствующие альтернативы перераспределили мгновенные упруго-деформирующие силы из-за нагружения ступенчатым способом, поверхностно-модифицирующим воздействием на материал, применением режущего инструмента с наиболее подходящими параметрами [9]. С упрощением расчетов метод теряет информативность и достоверность по реальным силовым параметрам, из-за чего искажается представление о взаимодействующем дисковом ноже и древесине. Для общего случая усилие при разделении пропорционально удельной силе $F_{уд}$, Н/мм², а также площади контактирующего с древесиной диска:

$$P = F_{уд} S_k \quad (2)$$

Значит, резание будет сопровождаться менее существенным усилием, если сократить значение S_k , чтобы древесина и дисковая пила контактировали на минимальной площади. Решение осуществляется двумя способами. В первом случае диск отличается особой конструкцией, где поднатурена боковая поверхность, тогда как другой путь предлагает делить древесину послойно. На

резание пойдет значительно более низкое усилие, если компилировать оба варианта: поднотрить диски и направить режущую часть контактировать с древесиной ступенчато. Последний метод также называют последовательным, или по автору – способ В.В. Овчинникова. В месте контакта древесины и диска формируется дугу, к которой прилагаются переменные силы разделения – касательную F_x сопровождает нормальная P_z . Значит, неизвестная средняя сила, возникающая на дуге, где диск и заготовка $F_{хср}$ контактируют, а также способом расчетов находится величина средней цикловой силы (возникает в одном цикле движения) - $F_{хц}$ (рис. 1):

$$F_{хц} = F_{хср} Z_p, \quad (3)$$

где Z_p — количество дисков.

Чтобы вычислить среднюю касательную силу резания, обратимся к принципу независимых компонентов:

$$P_{хср} = P_{хл} + 2P_{хн} + 2P_{хб}, \quad (4)$$

где: $P_{хл}$ — надрезающее усилие, оказываемое используемым для резания элементом, в момент контакта с древесиной;

$P_{хн}$ — возникающее на диске из-за наклонности поверхностей сопротивление;

$P_{хб}$ — сопровождающая продвижение в древесине боковых поверхностей используемого для резания элемента сила трения.

$$P_{хср} = K_{уд. л.} l + K_{уд. н.} l + K_{уд. б.} l, \quad (5)$$

где: $K_{уд.}$ — сопровождающее внедряемый диск удельное усилие (зависит от формы и типа заточки зубьев, а также от лезвия и размещенных на нем граней - наклонных и боковых), Н/мм;

l — протяженность формирующегося при резании древесины диском контакта, мм:

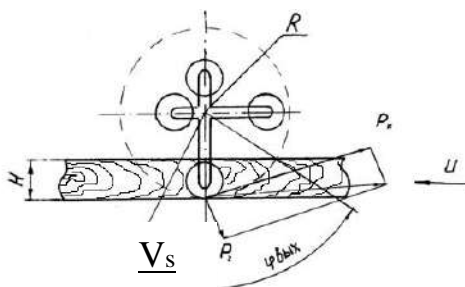


Рисунок 1. Силы разделения древесины диском с n-режущими элементами

Источник: собственная композиция автора

$$l = \pi D \varphi_k / 360, \quad (6),$$

где φ_k — угол контакта. (6)

Так как $K_{уд.н.}$ и $K_{уд.б.}$ определяются нормальным давлением и коэффициентом трения, то эти две составляющие целесообразно объединить в одну $K_{уд.р.}$ — удельную силу разделения режущего инструмента:

$$P_{хср} = K_{уд.л.} l + \alpha c K_{уд.р.} l, \quad (7)$$

$$P_{\text{хср}} = l(K_{\text{уд.л.}} + \alpha c K_{\text{уд.р.}}), \quad (8)$$

где: α — коэффициент, служащий выражением роста $K_{\text{уд.р}}$ с учетом такой характеристики используемого для резания элемента как толщина, из-за чего назван коэффициентом толщины;

c — коэффициент угла.

Существенно возрастает воздействующий на боковую поверхность режущих элементов такой фактор как напряжение сжатия с продвижением в древесине — порядка 100 Н/см². Разделение является процессом, обеспечиваемым режущими элементами, движущимися вращательно, из-за чего силовые параметры операции «бесстружечное разделение» определяются после расчета крутящего момента, противостоящего силам сопротивления операции резания:

$$M = P_{\text{хц}} \text{Ц}. \quad (9)$$

Привод должен иметь мощность, соотносимую с величиной момента. С операцией резания, учитывая неодинаковые радиусы, у режущих элементов и древесины возникает центр тяжести соответствующей площади, найти который позволяет формула:

$$\text{Ц} = P_1 R_1 + P_2 R_2 + \dots + P_n R_n / P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (10)$$

Сопровождающее контакт давление выводится через радиальное перемещение, а также учитываются составляющие в тензоре напряжения. Материал режущего элемента из-за температуры деформируется, а контактное давление перераспределяется [7]. Силу резания рассматриваем как источник тепла, а температура изменяет значение контактного давления. Тот факт, что диск вращается, позволяет допустить константность распределения температур, из-за чего по углу контакта φ нельзя признать существенной зависимости от отражающего трение коэффициента. Итак, найдем контактное давление, после вычисления корней из уравнения:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} 2\pi m_1 [p(y) - f p'(y)] = \frac{4m_2}{R} F \cos \varphi, \quad (11)$$

где m_1 и m_2 являются величинами переменными, зависящими от такого свойства древесного волокна как упругость, а также привязанными к упругим свойствам материала режущих частей диска, а также соотносящимися с деформациями (силовыми и температурными), возникающими при контакте элементов.

Использование программного обеспечения для решения задачи аналитически уточнить контактное давление древесины на диск $P(y)$ вызвано необходимостью вариационных исчислений. В результате получена величина контактного давления $P(y)$ при самом вероятном минимуме интеграла (рис. 2).

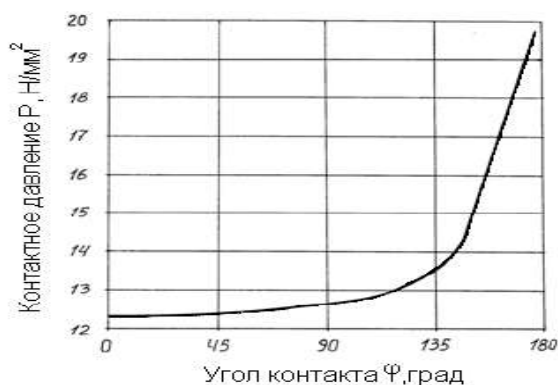


Рисунок 2. Зависимость контактного давления между диском и древесиной от угла контакта

Источник: собственная композиция автора

Немаловажным вопросом назовем необходимость уточнить, в каком диапазоне изменяется частота вращения диска, чтобы аналитически охарактеризовать распределяющиеся напряжения. С этой целью режущий диск подвергся аналитической процедуре и определены напряжения его сечения (радиальные и тангенциальные), сняты замеры с диска температурного поля. Руководствуясь условием равновесия, составим уравнения, чтобы рассчитать возникающие в инструменте напряжения.

Для критических оборотов роль определяющего фактора играет статический прогиб вала, причиной которого становится вес – как собственный, так и диска. Резанию противостоят соответствующие силы сопротивления, описанные через негармонический закон из-за периодического и непериодического возникновения. Но задавая силы, допустимо применить гармонический анализ, используя математические инструменты.

Древесина мягких пород, разделение которой происходит дисковым инструментом, а не круглыми пилами, интересна тем, что энергозатраты формируются, чтобы диск прошел материал, несмотря на силы трения, возникающие на боковых поверхностях.

Режим для резания диском связан с градиентом температур: в центре диска и на периферии, у режущих элементов. По инструменту температурные напряжения рассчитаны через два способа: по напряжению и через жесткость, замеры которой проводились в эксперименте. Проверив сходимость данных по расчетам и опыту, отметим, что ошибка незначительная – до 2%. Завершив разделение, для инструмента обоснованы ключевые параметры: с каким исходным диаметром окружности резания устанавливается диск, значение толщины, а также по зажимным шайбам определен зажим, подсчитаны необходимые режущие элементы, по инструменту оговорены угловые характеристики.

По результатам анализа возникающей с взаимодействием инструмента и древесины силы аргументирована значимость расчетных данных, чтобы выяснить существенность внешне-деформирующего усилия [8].

С оптимизацией математически смоделированного процесса взаимодействующего с древесиной диска выражено численными величинами контактное давление как соотносимое с углом между древесиной и инструментом (максимум по углу 90°). Контактное давление на протяженном промежутке резких перемен не показывает, однако затем кривая стремительно идет вверх.

Облекая в теоретические выкладки кинематику по двум типам разделения (встречное и попутное), принимая во внимание градиент температур, зафиксированных на диске в коридоре $0-90^\circ\text{C}$, найден оптимум средних окружностей резания 200-400 мм. Программное обеспечение применялось как расчетный инструмент, чтобы определить критические частоты вращения, показать верхний предел скорости, который нельзя поднимать для подаваемых заготовок до 40 м/мин (просчитано для обоих видов разделения - встречного и попутного). Против радиальных напряжений тангенциальные отличает в плане сечения диска превосходство в численном значении. В промышленном режиме эксплуатации инструмента высокие частоты вращения не снижают запаса прочности. Корпус инструмента подвергается действующим напряжениям, значение которых привязано как квадратично-зависимая величина к угловой скорости.

В исследовании применению инструмента предшествовали расчеты на программном обеспечении предела прочности, чтобы обеспечить ТБ и исключить прецеденты в ходе экспериментов.

Сила резания достигает максимума, получим который из формулы;

$$F_x = F_{уд} S L, (H), \quad (12)$$

где: $F_{уд}$ – закрепленная по резанию удельная сила как константа $2,4 \cdot 10^7$ Н/мм² с привязкой к древесине и ориентированию резания относительно волокон;

S – толщина конкретной заготовки, мм;

L – длина заготовки в конкретном случае, мм.

Отдельные требования формулируются к дереворежущим инструментам в плане прочности [10]. Характеристика прочности режущего инструмента расчетным путем проводится с учетом условия:

$$\sigma_u < [\sigma_u] \cdot 3 F_{хв} \cdot K / S \cdot D \leq [\sigma_u] \text{ (Н/мм}^2\text{)} \quad (13,14)$$

где: σ_u – воздействующие на сечение инструмента напряжения в связи с изгибом;

$[\sigma_u]$ – допуск, заданный на напряжение;

$F_{хв}$ – выделенный из силы резания вертикально ориентированный вектор;

D – снятая с резца ширина по подвергающемуся изгибу сечению;

k – запас прочности. выраженные через коэффициент;

S – снятые с диска замеры толщины.

В настоящее время актуально применение не только установок из числа экспериментальных, но и на многих предприятиях работают серийные модели позиционного станочного оборудования.

С исследовательскими целями изучен станок универсальный заточный 3Е642Е как установка для операций по заточке применявшегося для

дереворезающих операций инструмента, но и чтобы провести разделение древесины мягких лиственных пород на примере заготовок разной конфигурации.

Стол подается вручную и механизированным способом, заложена функция регулирования высоты вала инструментом, постепенная наладка частоты вращения (не более 3000 мин^{-1}). Для удержания заготовок станок оснащен поворотными тисками, из-за чего не ограничены углы установок обрабатываемого образца. Вопрос о формовании древесины изучался после скрупулезной подготовки: применялась пресс-форма (матрица и пуансон). По габаритам и профилю к матрице выдвинуто условие: являться обратной формой производимых на деревообрабатывающем станке изделий.

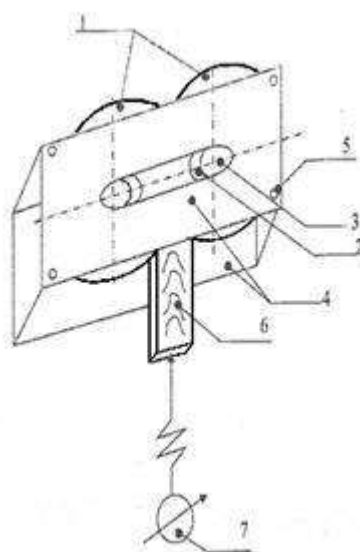


Рисунок 3. Схема лабораторной установки

1 – диски; 2 – шайбы; 3 – оси; 4 – верхняя и нижняя пластины; 5 – гайки;
6 – заготовка; 7 – динамометр сжатия.

Источник: собственная композиция автора

Результаты и обсуждение

Эксперимент позволяет утверждать, что операции технологически эффективны при разрезании и штамповании, если внести в конструкцию прокладку с виброгасящими и охлаждающими функциями, для натягиваемого инструмента и режимах резания выбрать только эффективные. В проекте любого нового инструментов, предназначенного для операций бесстружечного разделения, следует сместить упор с прочностных расчетов на иной приоритет: рассчитать колебания, чтобы нивелировать проблемные динамические характеристики в работе отдельных инструментов.

Определено, что значение порядка 3000 мин^{-1} эквивалентно критической частоте вращения, тогда как подачу заготовки рекомендуем производить с оптимумом скорости ориентировочно 20 м/мин , исходя из частоты вращения. Станок в различных режимах эксплуатации должен эксплуатироваться с критическими частотами вращения и постоянного уточнения их диапазона, привязанного к теплоотдаче (важен температурный коэффициент).

Эксперимент позволил определить, что достигнув при резании скорости 9 м/с, станок работает в стабильном температурном режиме, тогда как роста или спада энергетических показателей не фиксируется. Такие факторы как возросшая скорость подаваемой древесины и количество режущих элементов ведет к перегреву инструмента, а в итоге нередко корбит корпус из-за недостаточного отвода тепла и нарушенного термодинамического баланса.

Умозаключения экспериментаторов вылились в рекомендации для эксплуатантов с целью прикладного применения, чтобы бесстружечное разделение как производственный процесс выполнялось на безопасных и экономичных режимах:

С целью резания древесины рекомендуем остановиться на дисках с таким параметрами:

- частота вращения более 2000 мин⁻¹;
- скорость подачи менее 4.5 м/мин;
- средняя скорость резания не регламентируется

Процесс формообразования древесины требует применения штампов, параметры которых следующие:

- нагружение ступенчатое, если напряжение сжатия на уровне 10 МПа, но не выше;
- для прогрева остановиться на температуре, пик деформирующих свойств которой фиксируется в диапазоне 90-150°C;
- использовать материал (мягколиственная древесина), плотность которой находится в коридоре оптимальных значений 500-700 кг/ м³.

Работа над устранением недостатков, усложняющих эксплуатацию режущих дисков, ведет к усовершенствованию элемента с целью сделать резание древесины наименее энергоемким процессом. Отечественные ученые (патенты 1754446 и 2041800) предлагают использовать груз в качестве аккумулятора энергии. При обработке поверхности заготовки прорыв в качестве обеспечен а.с. №1825732 использованием диска с режущей клиновидной частью, выполненной в форме ромба, тогда как по бокам и в углублениях на корпусе монтируются неприводные ролики, при необходимости вращающиеся. Процесс переведен в более производительный в плане стойкости диска, разрезание древесины которым происходит устройством конструкции из а.с. №1662849. Диск нагревается меньше из-за того, что в корпусе полотна выполнены радиальные пазы, где функционируют подпружиненные расширители. Задача разрезать заготовку, толщина которой превышает 100 мм, решается дисковыми ножницами многокаскадной конструкции.

Не менее актуальным видится особый барьер: технологическое несовершенство, мешающее качественно разделить поверхности или провести разрезание сучковатых материалов. Штампование также является в адаптации к работе с мягко-лиственной древесиной, из-за чего создаются штампы соответствующих конструкций.

Готовые изделия после термической обработки лицевой поверхности становятся более качественными, на проведение процесса снижаются

энергозатраты, а также оптимизируется формообразование и экологическая безопасность производства.

Инструмент планируется оценивать по комплексной критериальной шкале на предмет качества, а также руководствоваться в работе экономической скоростью резания. Показатели заданы так, чтобы не возникало претензий к качеству поверхности, регламентированными техническими требованиями, а также на соответствие декоративных элементов и срезов стандартам.

Важными рекомендациями с прикладной ориентацией на более эффективное применение технологий назовем: производить подготовку древесины и эмпирически определять для резания рациональные режимы, а коэффициенты пропаривания получить расчетным способом, применяя ПО, готовить дереворежущее оборудование.

Изучение качества изделий осуществлено способом оценки готовых продуктов. Выявлено, что процесс штампования дает большой процент брака из-за трещин и разрывов на поверхности, но несколько реже встречаются не точно воспроизведенные заданные формы. Дефекты возникают из-за свойства волокон древесины упруго восстанавливаться, что выражено мгновенной упругостью материала, релаксацией, прессования под завышенным усилием, а также некондиционного сырья.

Рельефы воспроизводились с точными контурами, если древесина сохранила остаточную деформацию, величина которой определяется в привязке к материалу. Значит, процесс деформирования должен сопровождаться адекватным усилием. Такой фактор как сопровождающее прессование усилие превалирует против иных технологических требований и обеспечивает качество рельефа и деформируемого элемента. Снижая внешнюю нагрузку, нужно учитывать свойство древесины восстанавливаться, из-за чего поверхности рекомендуется обработать пластификатором, избежать трения древесины и штампа, подобрать для нагрузки более длительный период воздействия.

Экспериментальное исследование завершилось предложением инструментов, конструктивно предназначенных для операций по бесстружечному разделению мягко-лиственной древесины с упором на свойства такого материала, учитывая параметры как деформационные, так и прочностные. Расчет режима работы и проведение операций повышает до максимума продукт резания по качеству, делают операции производительными и мало-энергоёмкими, позволяют отсечь непроизводственные затраты. Инструмент демонстрирует целый спектр положительных качеств – от стойкости до надежности, нетрудоемкое выполнение. Для производителя существенно, что оборудование универсально в плане сервиса. Несомненно, удалось модернизировать конструкцию инструмента и опередить комплексностью (от 70% и выше) качества аналоги, выпущенные в РФ и за рубежом.

Выводы (Заключение)

После проведенной в экспериментальном исследовании модернизации достигнутые конструкционные достоинства инструмента, используемые при разделении мягко-лиственных пород древесины бесстружечным способом, состоят в том, что установка перерабатывает материал в соответствии с деформационно-прочностными параметрами и вариативным применением режимов резания. Результативность разработки отражают такие показатели реза как возросшая производительность и качество, изменение процесса до минимально-энергоемкого, управление непроизводственными затратами, оборудование отличает стойкость к механическим воздействиям, безотказная и надежная работа. Предприятия заинтересуют снизившаяся против более ранних образцов трудоемкость, условие универсальности обслуживаемых операций.

Инструменты в новом конструкционном исполнении выгодно отличаются от аналогов не только отечественного производителя, но и иностранных предприятий, что доказывает резкий разрыв комплексного критерия качества (минимум 70% и более).

Список литературы

1. Патент № 2726557 РФ, МПК В27В 33/02. Режущий диск для мягколиственной древесины : № 2019107993 : заявл. 20.03.2019 : опубл. 14.07.2020 / Ивановский Владимир Павлович, Платонов Алексей Дмитриевич, Волганкин Александр Михайлович, Недиков Роман Анатольевич ; патентообладатель(и): Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. - 2020. - eLIBRARY. - Бюл. № 20.
2. Lulu X, Ye X, Baokang D, Zhangning Ye, Chunde J, Qingfeng S and Xiaohong Yu 2019 In-situ anchoring of Fe₃O₄/ZIF-67 dodecahedrons in highly compressible wood aerogel with excellent microwave absorption properties. *Materials & Design*, Volume 182, 2019, 108006, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108006>.
3. Zhe Q, Zefang X, Likun G, Jian Li, Haigang W, Yonggui Wa and Yanjun X 2019 Transparent wood bearing a shielding effect to infrared heat and ultraviolet via incorporation of modified antimony-doped tin oxide nanoparticles. *Composites Science and Technology*, Volume 172, 2019, Pages 43-48, ISSN 0266-3538, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.01.005>.
4. Christian Brischke and Lone Ross Gobakken 2020 Protecting wood infrastructure and mass timber buildings. *Wood Material Science & Engineering*, 15:6, 325, DOI: 10.1080/17480272.2020.1799242.
5. Rahayu, Istie & Darmawan, Wayan & Zaini, Lukmanul & Prihatini, Esti. 2019 Characteristics of fast-growing wood impregnated with nanoparticles. *Journal of Forestry Research*. 31. 1-9. 10.1007/s11676-019-00902-3.
6. Sadrtidinov A.R., Safin R.G., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F. and Saprykina N.A. 2016 The development of equipment for the disposal of solid organic waste and optimization of its operation IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 142(1), 012095. DOI:10.1088/1757-899X/142/1/012095.

7. Шамаев В.А., Паринов Д.А. и Полилов, А. 2018 Исследование подшипников скольжения из модифицированной древесины для высоконагруженных узлов трения. Журнал машиностроения и надежности. 47. 168-172. 10.3103 / S1052618818020115.
8. Shamaev V, Parinov D and Medvedev I 2018 Wood Modification by Pressing. Engineering Studies, Issue 3 (2), Volume 10. Taylor & Francis, 2018. 708-718 pp.
9. Shamaev V, Parinov D and Medvedev I 2018 Study Of Modified Wood As A Bearing Material For Machine-Building. International Conference on Aviaemechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018), Advances in Engineering Research, volume 158, 478-482 pp.
10. Shamaev V, Medvedev I, Parinov D, Shakirova O and Anisimov M 2018 Investigation of modified wood as a material power transmission pole produced by self-pressing method. Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen, volume 60, № 2, 2018, 25-32 pp. DOI: 10.17423/afx.2018.60.2.02.
11. James A. Brient, Mark J. Manning and Mike H. Freeman 2020 Copper naphthenate - protecting America's infrastructure for over 100 years and its potential for expanded use in Canada and Europe, Wood Material Science & Engineering, 15:6, 368-376, DOI: 10.1080/17480272.2020.1837948.
12. Li B., Ma H., Yu X., Zeng J., Guo X., Wen B. (2019). Nonlinear vibration and dynamic stability analysis of rotor-blade system with nonlinear supports. Archive of Applied Mechanics. doi:10.1007/s00419-019-01509-0.
13. Yu K., Ma H., Han H. (et al.) (2019). Second order multi-synchrosqueezing transform for rub-impact detection of rotor systems. Mechanism and Machine Theory, 140, 321– 349. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.007.
14. Yu K., Fu Q., Ma H., Lin T. R., Li X. (2020). Simulation data driven weakly supervised adversarial domain adaptation approach for intelligent cross-machine fault diagnosis. Structural Health Monitoring, 147592172098071. doi:10.1177/1475921720980718.
15. Li Y., Luo Z., Wang J., Ma H., Yang D. (2021). Numerical and experimental analysis of the effect of eccentric phase difference in a rotor-bearing system with bolted-disk joint. Nonlinear Dynamics, 105(3), 2105– 2132. doi:10.1007/s11071-021-06698-4.
16. Liu Y., Zhao Y., Li J., Lu H., Ma H. (2019). Feature extraction method based on NOFRFs and its application in faulty rotor system with slight misalignment. Nonlinear Dynamics. doi:10.1007/s11071-019-05340-8.
17. MA X., MA H., QIN H., GUO X., ZHAO, C., YU M. (2021). Nonlinear vibration response characteristics of a dual-rotor-bearing system with squeeze film damper. Chinese Journal of Aeronautics, 34(10), 128–147. doi:10.1016/j.cja.2021.01.013.
18. Aghayari J., Bab S., Safarpour P., Rahi A. (2021). A novel modal vibration reduction of a disk-blades of a turbine using nonlinear energy sinks on the disk. Mechanism and Machine Theory, 155, 104048. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.104048.

19. Xiong C., Huang Z., Shi H., Yang R., Dai X., He W. (2021). 3D Cutting Force Model of a Stinger PDC Cutter: Considering Confining Pressure and the Thermal Stress. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54(9), 5001– 5022. doi:10.1007/s00603-021-02494-z.
20. Farrokh E. (2021). Cutter change time and cutter consumption for rock TBMs. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 114, 104000. doi:10.1016/j.tust.2021.104000.
21. Liu Y., Han J., Zhao S. (et al.) (2019). Study on the Dynamic Problems of Double-Disk Rotor System Supported by Deep Groove Ball Bearing. *Shock and Vibration*, 2019, 1–12. doi:10.1155/2019/8120569.

References

1. Patent No. 2726557 RF, IPC B27B 33/02. Cutting disc for softwood: no.2019107993: app. 20.03.2019: publ. 07/14/2020 / Ivanovsky Vladimir Pavlovich, Platonov Alexey Dmitrievich, Volgankin Alexander Mikhailovich, Nedikov Roman Anatolyevich; Patent holder (s): Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov. - 2020. - eLIBRARY. - Bul. No. 20;
2. Lulu X, Ye X, Baokang D, Zhangning Ye, Chunde J, Qingfeng S and Xiaohong Yu 2019 In-situ anchoring of Fe₃O₄ / ZIF-67 dodecahedrons in highly compressible wood aerogel with excellent microwave absorption properties. *Materials & Design*, Volume 182, 2019, 108006, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108006>;
3. Zhe Q, Zefang X, Likun G, Jian Li, Haigang W, Yonggui Wa and Yanjun X 2019 Transparent wood bearing a shielding effect to infrared heat and ultraviolet via incorporation of modified antimony-doped tin oxide nanoparticles. *Composites Science and Technology*, Volume 172, 2019, Pages 43-48, ISSN 0266-3538, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.01.005>;
4. Christian Brischke and Lone Ross Gobakken 2020 Protecting wood infrastructure and mass timber buildings. *Wood Material Science & Engineering*, 15: 6, 325, DOI: 10.1080 / 17480272.2020.1799242;
5. Rahayu, Istie & Darmawan, Wayan & Zaini, Lukmanul & Prihatini, Esti. 2019 Characteristics of fast-growing wood impregnated with nanoparticles. *Journal of Forestry Research*. 31.1-9. 10.1007 / s11676-019-00902-3;
6. Sadrtidinov A.R., Safin R.G., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F. and Saprykina N.A. 2016 The development of equipment for the disposal of solid organic waste and optimization of its operation IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 142 (1), 012095. DOI: 10.1088 / 1757-899X / 142/1/012095;
7. Shamaev V.A., Parinov D.A. and Polilov, A. 2018 Investigation of sliding bearings made of modified wood for highly loaded friction units. *Journal of Mechanical Engineering and Reliability*. 47.168-172. 10.3103 / S1052618818020115;
8. Shamaev V, Parinov D and Medvedev I 2018 Wood Modification by Pressing. *Engineering Studies*, Issue 3 (2), Vol. 10. Taylor & Francis, 2018. P. 708-718.

9. Shamaev V, Parinov D and Medvedev I 2018 Study Of Modified Wood As A Bearing Material For Machine-Building. International Conference on Aviaemechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018), Advances in Engineering Research, volume 158, 478-482 pp.;
10. Shamaev V, Medvedev I, Parinov D, Shakirova O and Anisimov M 2018 Investigation of modified wood as a material power transmission pole produced by self-pressing method. Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen, volume 60, No. 2, 2018, 25-32 pp. DOI: 10.17423 / afx.2018.60.2.02;
11. James A. Brient, Mark J. Manning and Mike H. Freeman 2020 Copper naphthenate - protecting America's infrastructure for over 100 years and its potential for expanded use in Canada and Europe, Wood Material Science & Engineering, 15: 6, 368- 376, DOI: 10.1080 / 17480272.2020.1837948;
12. Li B., Ma H., Yu X., Zeng J., Guo X., Wen B. (2019). Nonlinear vibration and dynamic stability analysis of rotor-blade system with nonlinear supports. Archive of Applied Mechanics. doi:10.1007/s00419-019-01509-0
13. Yu K., Ma H., Han H. (et al.) (2019). Second order multi-synchrosqueezing transform for rub-impact detection of rotor systems. Mechanism and Machine Theory, 140, 321– 349. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.007
14. Yu K., Fu Q., Ma H., Lin T. R., Li X. (2020). Simulation data driven weakly supervised adversarial domain adaptation approach for intelligent cross-machine fault diagnosis. Structural Health Monitoring, 147592172098071. doi:10.1177/1475921720980718
15. Li Y., Luo Z., Wang J., Ma H., Yang D. (2021). Numerical and experimental analysis of the effect of eccentric phase difference in a rotor-bearing system with bolted-disk joint. Nonlinear Dynamics, 105(3), 2105–2132. doi:10.1007/s11071-021-06698-4
16. Liu Y., Zhao Y., Li J., Lu H., Ma H. (2019). Feature extraction method based on NOFRFs and its application in faulty rotor system with slight misalignment. Nonlinear Dynamics. doi:10.1007/s11071-019-05340-8
17. MA X., MA H., QIN H., GUO X., ZHAO, C., YU M. (2021). Nonlinear vibration response characteristics of a dual-rotor-bearing system with squeeze film damper. Chinese Journal of Aeronautics, 34(10), 128–147. doi:10.1016/j.cja.2021.01.013
18. Aghayari J., Bab S., Safarpour P., Rahi A. (2021). A novel modal vibration reduction of a disk-blades of a turbine using nonlinear energy sinks on the disk. Mechanism and Machine Theory, 155, 104048. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.104048
19. Xiong C., Huang Z., Shi H., Yang R., Dai X., He W. (2021). 3D Cutting Force Model of a Stinger PDC Cutter: Considering Confining Pressure and the Thermal Stress. Rock Mechanics and Rock Engineering, 54(9), 5001–5022. doi:10.1007/s00603-021-02494-z
20. Farrokh E. (2021). Cutter change time and cutter consumption for rock TBMs. Tunnelling and Underground Space Technology, 114, 104000. doi:10.1016/j.tust.2021.104000
21. Liu Y., Han J., Zhao S. (et al.) (2019). Study on the Dynamic Problems of Double-Disk Rotor System Supported by Deep Groove Ball Bearing. Shock and Vibration, 2019, 1–12. doi:10.1155/2019/8120569.

**Кораблев Р.А., Белокуров В.П., Голев А.Д.,
Бусарин Э.Н., Лихачев Д.В.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Внутриклеточные изменения биологических объектов под действием ЭМИ

Аннотация. В статье рассмотрена предпосевная обработка семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) электромагнитным (ЭМИ) облучением, с целью увеличения их всхожести и энергии прорастания. Обработка семян производилась под воздействием постоянного магнитного поля катушкой индуктивности с числом витков на 1 метр – $5 \cdot 10^3$ и силой тока до 0.5 А, в экспозиции от 1 до 20 мин, при значении индукции магнитного поля, равного 2,5 мТл. После чего были проведены исследования на всхожесть и энергию прорастания семян; сохранность и динамику роста сеянцев в лабораторных и полевых условиях; рассмотрен механизм воздействия ЭМИ облучения на клеточном и субклеточном уровне. Проводились исследования с применением метода кругового дихроизма. Выявлена специфика изменения ферментных систем под воздействием стрессирующих факторов.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, прорастание, обработка, семена

**Korablev R.A., Belokurov V.P., Golev A.D.,
Busarin E.N., Likhachev D.V.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
Named after G.F. Morozov, Voronezh*

Changes in intracellular processes of biological objects under the influence of electromagnetic irradiation

Abstract. Seed treatment methods have been widely studied in recent years to improve seed germination and plant growth. This review discusses several research studies on the effects of various seed treatment methods, including crown discharge, gamma irradiation, and electromagnetic radiation, on seed germination and plant growth. The studies indicate that these methods positively affect seed germination energy and seedling vigor. Additionally, seed treatment has been found to improve plant resistance to environmental stressors, such as salt and drought. One of the studies reviewed in this article focuses on the effects of electromagnetic radiation on *Pinus sylvestris* L. seed germination. The study found that seed

treatment with electromagnetic radiation for 5 minutes at an optimal dose increased seed germination rate to 77 %, which was 12 % higher than the control group's rate of 65 %. The study also detected accelerated physiological processes in the treated seeds, with increased activity of glutamate dehydrogenase and superoxide dismutase enzymes as an adaptive response to the stress induced by the radiation. Overall, these studies suggest that seed treatment methods have practical significance for agriculture and forestry, providing the potential to increase yield and improve seed quality. Further research is needed to identify the optimal treatment conditions and mechanisms of seed treatment methods.

Keywords: scots pine, germination, processing, seeds

1. ВВЕДЕНИЕ

При длительном хранении семян возникает проблема снижения их всхожести и энергии прорастания, что требует применения различных методов обработки перед посевом. Такие методы включают в себя стратификацию, намачивание, обработку семян микроэлементами, гидротермическое воздействие, скарификацию, дезинфекцию и дезинсекцию. В настоящее время более прогрессивные методы подготовки семян к посеву включают использование различных физических воздействий, таких как ультрафиолетовое, инфракрасное, сверхвысокочастотное, лазерное облучение и обработка магнитными полями. Такие методы позволяют не только вывести семена из состояния покоя, но и активизировать работу ферментов, что приводит к увеличению всхожести, снижению заболеваемости, ускорению роста и развития сеянцев [1, 2].

Живой организм в своей основе состоит преимущественно из диамагнитных веществ, содержащих лишь небольшое количество парамагнитных частиц, таких как свободные радикалы, ферменты и ионы. Существует большое количество опытных данных, свидетельствующих о влиянии магнитных полей (МП) различных типов и интенсивности на биологические объекты. Исследования авторов [3-8] демонстрируют влияние МП на такие процессы, как всхожесть и скорость прорастания семян, активность ферментов, а также влияние на течение биологических процессов и некоторых химических реакций.

В начальной стадии исследования предполагалось, что универсальность воздействия магнитного поля на живые системы обусловлена его воздействием на свойства воды, которая содержится во всех биологических объектах.

В настоящее время проводятся активные исследования влияния слабых постоянных и переменных магнитных полей на химические реакции в конденсированных средах. Большинство авторов работ придерживается мнения, что воздействие слабых магнитных полей на вещество связано со снятием спиновых запретов для переходов с изменением электронного спина. Например, теоретические модели воздействия слабых магнитных полей на радикальные химические реакции основаны на предположении о снятии

магнитным полем спиновых запретов на интеркомбинационные переходы между состояниями с различной мультиплетностью [6, 9-12].

Согласно теории магнитных спиновых эффектов, воздействие магнитного поля (МП) на пары парамагнитных частиц может изменять скорости реакций, проходящих через стадию взаимодействия. В биологических системах это проявляется в некоторых реакциях, катализируемых ферментами, в активном центре которых находится парамагнитный ион металла, например, цитохром P-450, играющий ключевую роль в микросомальном окислении, железосодержащие белки – переносчики электронов в митохондриях, каталаза, супероксиддисмутаза и др. Кроме того, воздействие МП может оказывать влияние на реакции, катализируемые ферментами, у которых кофакторы или коферменты являются двух электронными переносчиками типа флавинов или НАДФ, радикальные реакции, происходящие при перекисном окислении липидов, и фотохимические реакции, происходящие в первичных процессах фотосинтеза и в наружных покровных тканях организмов [4, 13-16].

Проведенные в 2022 году исследования, представленные в работе [17], вызывают большой интерес ученых в силу своей новизны и важности. В этом исследовании изучалось влияние различных сил МП (20, 42, 125 и 250 мТл) на ячмень (*Hordeum vulgare* L.). Кроме фенологических показателей определяли возможное повреждение клеток, скорость транспорта электронов, флуоресценцию хлорофилла, магнитный характер и элементный статус тканей. Результаты показали, что более низкая сила (≤ 125 мТл) обработки МП улучшает всхожесть. Анализы конфокальной микроскопии выявили вызванное МП повреждение клеточной мембраны в корнях, которое могло изменить содержание элементов в тканях. Элементным анализом установлено, что содержание макроэлементов (Ca, Mg, P, K) постепенно снижается с увеличением силы МП; напротив, в корнях повышено содержание микроэлементов (Fe, B, Cu, Mn, Zn, Mo). Диамагнетизм является доминирующим магнитным свойством всех образцов корней и листьев. Однако корни неожиданно стали суперпарамагнитными при воздействии 250 мТл. Кажется, что обработка МП при более высокой силе (250 мТл в этом исследовании) может влиять на ориентацию магнитных моментов. Эти данные свидетельствуют о том, что применение МП: а) может изменять магнитные свойства растений, б) усиливает прорастание, фотосинтетический механизм и рост, и в) влияет на поглощение питательных веществ и изобилие в тканях в зависимости от силы МП. Это всестороннее исследование может помочь в понимании взаимодействия магнитного поля с растениями.

Использование модуляционной методики в этом исследовании позволило обнаружить изменение интенсивности флуоресценции зеленых листьев под действием внешнего магнитного поля. Это обнаружение имеет большое значение для дальнейших исследований в области биофизики и может привести к новым открытиям в области взаимодействия магнитного поля и биологических объектов.

Данная работа [18], проведенная в 1977 году авторами Н.В. Чепуренко, И.Г. Борисовой и Е.В. Будницкой, направлена на изучение изменения активности и изоферментного состава липоксигеназы пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при воздействии рентгеновского излучения. Результаты исследования показали, что рентгеновское излучение вызывает изменения в активности и изоферментном составе липоксигеназы пшеницы данного вида. В настоящем исследовании был проведен анализ активности липоксигеназы при помощи спектрофотометрического метода при длине волны 234 нм. В качестве субстрата использовалась натриевая соль арахидоновой кислоты, приготовленная непосредственно перед экспериментом. Одной единицей удельной активности фермента было принято изменение оптической плотности реакционной смеси на 0.001 за 1 мин на 1 мг белка. В результате исследования было установлено, что липоксигеназа пшеницы обладает относительно высокой радиоустойчивостью при воздействии рентгеновского излучения.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Авторами был составлен следующий план исследований:

- 1) собрать и определить качество семенного материала;
- 2) провести обработку семян ЭМИ облучением в различных дозах;
- 3) определить лабораторные всхожесть и энергию прорастания семян;
- 4) определить дозы облучения: стимулирующие, летальные и угнетающие;
- 5) провести статистический анализ исследований и определить их достоверность;
- 6) провести изоферментный анализ семян.

Более подробно методика эксперимента описана [19]. Качество семенного материала определяли в соответствии с ISTA и ГОСТ [20, 21].

В данном исследовании были использованы семена *Pinus sylvestris* L., собранные в апреле с маточной семейственной плантации, расположенной в Воронежском регионе. Для получения шишек, конусы были выдержаны при комнатной температуре (22-25 °С) в течение Апрель-мая. При использовании семян в экспериментах по обработке и проращиванию, была обеспечена высокая чистота материала (99 %) и влажность семян составляла 70 %. Исследования были проведены в период мая-июня.

Для обработки семян древесных пород использовалась катушка индуктивности с числом витков на 1 метр – $5 \cdot 10^3$, соединенная с источником тока, амперметром, вольтметром и реостатом. Сила тока, проходившего через катушку, изменялась в диапазоне от 0 до 0,5 А. Теоретически была рассчитана величина индукции магнитного поля в центре катушки. Семена были расположены на листе бумаги вдоль оси катушки индуктивности в количестве от 100 до 200 штук. Длительность обработки магнитным полем составляла от 1 до 20 минут при индукции магнитного поля, равной 2,5 мТл.

В рамках данного исследования был использован метод проращивания семян на свету в чашках Петри, которые были размещены на белой фильтровальной бумаге. Для обеспечения оптимальных условий для роста,

фильтровальную бумагу было нарезано в соответствии с размером чашки Петри и подвергнуто увлажнению до полной влагоемкости путем опускания в свежее кипяченую воду и последующего стечения избыточной воды. После этого, фильтровальная бумага была уложена на специальное ложе, созданное для обеспечения оптимальных условий проращивания семян. В целях определения всхожести и энергии прорастания семян был использован метод раскладки 6 проб, содержащих по 100 семян в каждой. Для обеспечения оптимальных условий для роста, проращивание семян производилось при переменной температуре в диапазоне от 20 до 24 градусов Цельсия.

В ходе исследования проращивания семян *Pinus sylvestris* L. было установлено, что результаты проращивания учитывались в течение 15 дней согласно определенным дням. При этом, были исключены из рассмотрения нормально проросшие и явно загнившие семена, выявленные в ложе. По завершении лабораторных исследований, был проведен учет количества непроросших и загнивших семян.

В соответствии с методикой исследования [19], статистическая обработка полученных результатов была выполнена с использованием программного обеспечения STATGRAPHICS.

В ходе исследования, направленного на изучение динамики изменений изоферментных спектров семян *Pinus sylvestris* L. в результате воздействия ЭМИ облучения, были проанализированы эндоспермы и зародыши в течение 1-13 дней с использованием изоферментного анализа. Для определения динамики изменений в каждой ферментной системе было проведено 46 определений глутаматдегидрогеназы (ГДГ) и 46 определений супероксиддисмутазы (СОД). Данные определения основаны на методике, описанной в [19].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты лабораторных исследований влияния ЭМИ облучения на всхожесть и энергию прорастания семян *Pinus sylvestris* L. представлены в таблице 1.

Следствием воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) в стимулирующих дозах на семена является увеличение всхожести, достигающее максимального коэффициента эффективности при значении времени облучения $G = 5$ минут. В результате прорастания на протяжении 5 дней отмечается высокий уровень энергии.

Таблица 1. Лабораторные исследования влияния ЭМИ облучения на всхожесть и энергию прорастания семян *Pinus sylvestris* L.

Время экспозиции, мин	1	3	5	7	10	13	15	20	Контроль
Всхожесть семян, %	65	71	77	75	70	68	68	67	65
Энергия прорастания семян, %	54	57	69	55	58	55	53	53	53

В ходе экспериментальной обработки семян методом электромагнитного излучения (ЭМИ) с использованием экспозиции продолжительностью 5 минут, наблюдалось увеличение продолжительности

прорастания до 137 часов (5.7 суток), а также высокая всхожесть, достигающая 100 % на 12-й день после посева.

Согласно результатам данного эксперимента, были выявлены стимулирующие и угнетающие дозы, после чего были произведены исследования семян *Pinus sylvestris* L., обработанных стимулирующими дозами, в открытом грунте. Эти исследования направлены на измерение грунтовой всхожести, роста и развития сеянцев. При этом нами не было обнаружено негативного воздействия на семена при облучении ЭМИ в экспозиции до 20 минут. В целом, динамика прорастания семян при различных дозах облучения имеет существенное сходство с сохранением значительных различий по всхожести и длительности семенного покоя.

Возможно, данное прогрессивное состояние, которое существенно отличается от обычного хода прорастания, может быть объяснено влиянием величины урожая на качество семян. Следовательно, предположим, что чем выше урожай, тем лучше будет всхожесть, а наоборот, чем ниже урожай, тем хуже качество семян.

После обработки семян *Pinus sylvestris* L в стимулирующих дозах провели статистический анализ данных (таблица 2).

Таблица 2. Статистический анализ воздействия стимулирующих доз ЭМИ облучения на лабораторную всхожести семян *Pinus sylvestris* L по дням проращивания

Период проращивания, сутки	Коэффициент корреляции и регрессия				Относительная ошибка, %
	$R \pm S_r$	t_z	$y = ax + b$	S_{yx}	
Электромагнитное облучение в экспозиции 5 мин					
7	0.21 ± 0.312	0.66	-	-	-
10	0.60 ± 0.160	3.40	$0.71x + 69.4$	14.3	19.0
15	0.98 ± 0.072	10.62	$0.93x + 8.9$	3.1	4.3
Контроль					
7	0.12 ± 0.204	0.70	-	-	-
10	0.60 ± 0.160	3.40	$0.71x + 69.4$	14.3	19.0
15	0.98 ± 0.073	14.06	$0.95x + 11.2$	4.2	5.6
Критерий $t_{0.05} = 2.06$					

В сравнении с экспериментальными вариантами, контрольный вариант семян отличается более низкими показателями всхожести. В частности, на седьмые сутки после начала эксперимента, наблюдалось незначительное прорастание семян, а на десятые сутки их всхожесть в среднем составила 45 %. Однако, к пятнадцатым суткам, при средней длительности прорастания 266 часов (11.1 суток), средняя всхожесть семян в контрольной группе увеличилась до 67 %.

Между энергией и длительностью прорастания семян наблюдается тесная и отрицательная связь, которая определяется коэффициентом, равным 0.98 ± 0.072 ($t_z = 10.62$; $t_{0.05} = 2.06$). Данное уравнение представляет

прямолинейную регрессию, где y описывает длительность прорастания семян, а x - показатель энергии прорастания. Уравнение прямолинейной регрессии представлено следующим образом: $y = 0.93x + 8,9$ ($S_{yx} = 3.1$).

В соответствии с критерием Фишера, была установлена положительная корреляция различной степени между показателями всхожести в разные дни проращивания и подтверждена достоверность проведенных исследований, что проявилось в значении фактического критерия Фишера, превышающего теоретический критерий Фишера при уровне значимости 5 %.

Коэффициент корреляции между всхожестью семян на 7-е дни проращивания оказался низким (0.21) и недостоверным при значении $t_z = 0.66$ (таблица 2). Однако, к 10-му дню проращивания, значение коэффициента корреляции возрастает до 0.60 с высокой достоверностью. В то же время, определение всхожести путем расчета на конец периода выращивания сопровождается значительной абсолютной и относительной ошибкой. В дальнейшем, уровень корреляции продолжает возрастать, а ошибка уменьшается, и на 13-е дни составляет менее 10 %. Наконец, на 15-й день проращивания, коэффициент корреляции достигает значения 0.98, а относительная ошибка определения всхожести составляет около 4 %, что является приемлемым для оценки качества на лесосеменных станциях и в производственных условиях.

На рисунке 1 представлена графическая зависимость относительной всхожести семян *Pinus sylvestris* L. от дозы воздействия. Видно, что максимальный стимулирующий эффект достигается при дозе 5 мин и составляет 120 %, при этом контрольная группа семян имеет уровень всхожести 100 %.

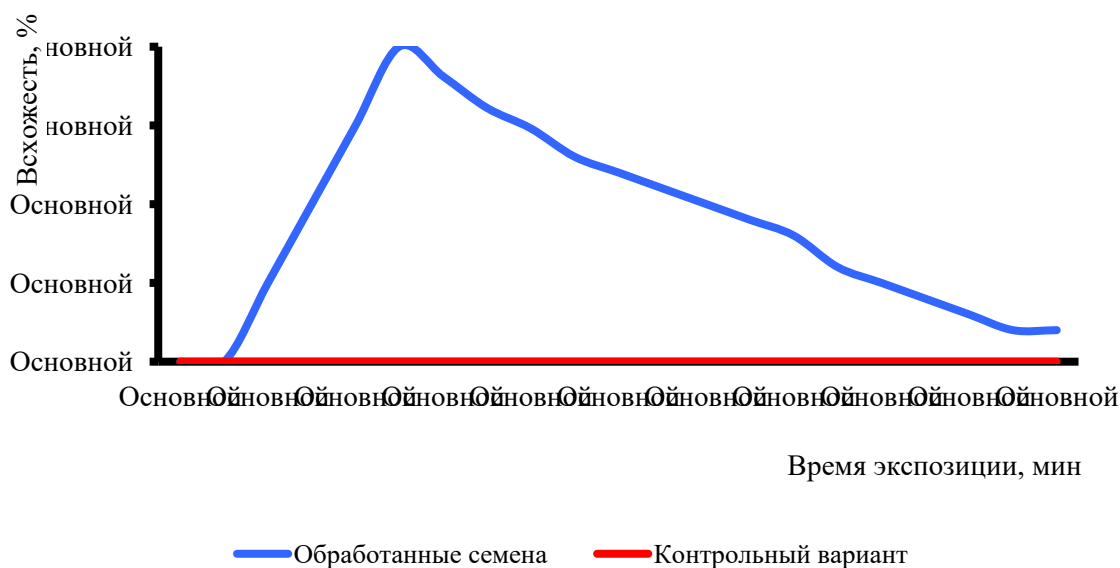


Рисунок 1. Относительная всхожесть семян *Pinus sylvestris* L. в лабораторных опытах при обработке электромагнитным облучением

В результате исследований, проведенных с целью изучения всхожести и энергии прорастания семян *Pinus sylvestris* L. при различных дозах электромагнитного облучения, было выявлено положительное влияние данного воздействия на прорастание семян. Особенно выраженный стимулирующий эффект был зафиксирован при экспозиции продолжительностью 5 минут. Однако, при дальнейшем увеличении времени обработки стимулирующий эффект семян постепенно снижался.

С целью более глубокого анализа полученных экспериментальных данных, было решено обратиться к работам [22-27] посвященным изучению взаимодействия биологических объектов с радиочастотным излучением на той же частоте, что и в наших исследованиях. Это позволило получить дополнительную информацию и лучше объяснить результаты эксперимента.

Полученные результаты эксперимента позволили детально описать изменения, происходящие в области электромагнитного излучения на уровнях белковой и липидной фаз, а также на границе липид-вода, где происходят важные липид-белковые взаимодействия.

Первая фаза исследования мембран была осуществлена при помощи двух методов: флуоресценции естественной метки белков - триптофана и метода кругового дихроизма [22]. В флуориметрических исследованиях максимальная излученная мощность составила 200 Вт/кг, а нагрев суспензии в термостатической ячейке за время экспозиции составил 3.4 °С (исходная температура 33.6 °С, длительность воздействия 5 минут).

Согласно полученным результатам, можно сделать вывод о том, что воздействие электромагнитных полей приводит к структурным изменениям в белках, что в свою очередь вызывает увеличение доступности триптофановых

остатков для воды. Описываемые изменения качественно и количественно сравнимы с нагреванием образцов с использованием термостата до такой же температуры.

Путем использования метода кругового дихроизма были проведены исследования, осуществленные при более высоких удельных мощностях в диапазоне от 150 до 725 Вт/кг. Выявлено, что данное условие соответствовало повышению температуры на 1,8-5,8 °С. При проведении облучения в термостатируемой ячейке с начальной температурой 32 °С и экспозицией 10 минут, была обнаружена структурная перестройка белков в поле электромагнитного излучения. Этот метод выявил, что данное явление качественно соответствует эффекту, вызываемому обычным нагревом. Однако, в количественном отношении, было установлено, что действие электромагнитного излучения оказалось значительно более эффективным.

В ходе изучения липидной фазы был использован ряд флуоресцентных зондов, включающий дифенилгексатриен, пирен и перилен [28-32]. Следует отметить, что места локализации указанных зондов в мембране оказались различными. В процессе исследования было установлено, что все зонды проявили увеличение своей подвижности, сопровождающееся снижением вязкости микроокружающей среды при повышении температуры, вызванной поглощением электромагнитного излучения. В то же время, было отмечено усиление тушения пирена. Подобные изменения также были зарегистрированы при контроле температуры. Стоит отметить, что в пределах погрешности эксперимента эффекты, вызванные электромагнитным излучением и нагревом, не различались достоверно, однако была наблюдаема тенденция к большей эффективности действия электромагнитного излучения.

Использование нафталинсульфоновых зондов, таких как 1.8-анилинонафталинсульфонат и 2.6-толуидинонафталинсульфонат, позволило получить основную информацию о состоянии области контакта липид-вода (включая липид-белковые взаимодействия) в условиях воздействия электромагнитного излучения. Отличие между этими зондами заключается в различной ориентации длинной оси молекулы зонда в полярной области липидного бислоя, что определяет разную глубину их погружения в липидный бислой. Эксперименты проводились при аналогичных условиях, как и в случае с пиреном и периленом.

Проведенные исследования показали, что в области локализации флуоресцентных зондов, происходят изменения, сопровождающиеся снижением константы связывания зондов с мембраной. Эти изменения, вызванные ЭМИ, были сходны с изменениями, обусловленными тепловым нагревом. Количественно, статистически значимых различий между пробами, нагреваемыми с помощью ЭМИ и термостата, не было обнаружено, однако зафиксирована тенденция к более эффективному воздействию ЭМИ.

В результате исследования установлено, что белки подвергаются структурным изменениям под воздействием ЭМИ, которые могут приводить к увеличению их активности и изменению доступности триптофановых остатков для воды [2, 19, 33-36]. Рассмотрим особенности воздействия

изучаемых физических факторов на ферментные системы глутаматдегидрогеназы (ГДГ) и супероксиддисмутазы (СОД).

В таблице 3 представлены особенности воздействия ЭМИ облучения на ферментные системы ГДГ и СОД семян *Pinus sylvestris L.*

Таблица 3. Исследование воздействия электромагнитного облучения на электрофоретические спектры ферментов семян *Pinus sylvestris L.*

Дни наблюдений	Время экспозиции, мин				
	5 влажные	5 сухие	10 сухие	15 сухие	20 влажные
Глутаматдегидрогеназа					
1	единичная перестройка структуры	норма	норма	норма	перестройка четвертичной структуры более чем у 50 % образцов
2-3	увеличение доли семян, имеющих нарушение спектров	норма	норма	норма	уменьшение числа семян, имеющих нарушение четвертичной структуры
5	тоже	нарушение четвертичной структуры (двухполосные спектры) у эндоспермов			тоже
8	тоже	норма	норма	норма	норма
13	норма	норма	норма	норма	норма
Супероксиддисмутаза					
1-6	норма	норма	норма	норма	норма
8	норма	норма	некоторое ослабление активности		норма
13	норма	норма	норма	норма	норма

Наиболее значительное воздействие на ферментную систему гликолиза глицеральдегид-3-фосфат дегидрогеназы (ГДГ) было зафиксировано в результате облучения семян электромагнитным излучением (ЭМИ) длительностью 5 минут. У сухих семян наблюдались изменения на 5-й день, но к 8-му дню спектры нормализовались. Обработка влажных семян магнитным полем, а также УФ-облучение, приводили к более ранней реакции ГДГ. Кроме того, длительное воздействие приводило к более сильной ответной реакции, как показано в таблице 3.

Магнитное поле не проявляло значительного влияния на активность супероксиддисмутазы (СОД) ни в одном из исследуемых вариантов, однако отмечалось небольшое ослабление активности СОД у семян с продолжительным временем воздействия, как указано в таблице 3.

При обработке магнитным полем отмечается более сильный эффект при продолжительной обработке только в случае влажных семян. Облучение влажных семян в целом приводит к более быстрой и продолжительной

реакции, что может быть связано с истощением компенсаторных механизмов клеток, вызывающих последующие изменения после нормализации спектров на более поздних этапах. Подобная зависимость от длительности воздействия и динамики изменений после воздействия стрессирующих факторов была выявлена и другими авторами, такими как Nithiuthai и Allen [34] и White и Scandalios [35].

На рисунке 3 проиллюстрированы изменения в спектрах ферментов ГДГ и СОД при воздействии ЭМИ облучения. Изоферментные спектры глутаматдегидрогеназы при воздействии стимулирующих доз излучений характеризуются появлением дополнительных полос и перестройкой четвертичной структуры (гексамера), что приводит к изменению их подвижности. Воздействие ЭМИ на молекулу ГДГ вначале вызывает ее частичное разрушение, после чего происходит восстановление до первоначальной структуры, что указывает на неспецифическую реакцию на стрессирующее воздействие [36].

В результате воздействия излучений в стимулирующих дозах на изоферментные спектры супероксиддисмутазы не наблюдается перестройки структуры молекулы. Вместо этого, наблюдается увеличение активности при всех дозах ЭМИ облучения, которое затем снижается ниже контрольного уровня, с последующей нормализацией спектра. Это указывает на проявление неспецифической реакции на стрессирующие воздействия, что подтверждается данными рисунка 2. В литературе отмечается, что увеличение активности фермента SOD связано с различными стрессирующими воздействиями, такими как увеличение уровня активированного кислорода и концентрации соли в среде [37, 38], окислительные и фотоокислительные стрессы [39, 40]. В свою очередь, уменьшение активности фермента СОД связано с накоплением нитритов растениями [41] и дефицитом минерального питания [42]. За счет своей активности ферменты SOD играют важную роль в контроле уровней различных активных форм кислорода и активных форм азота, тем самым ограничивая потенциальную токсичность этих молекул и регулируя широкий спектр аспектов клеточной жизни при помощи своих сигнальных функций [43].

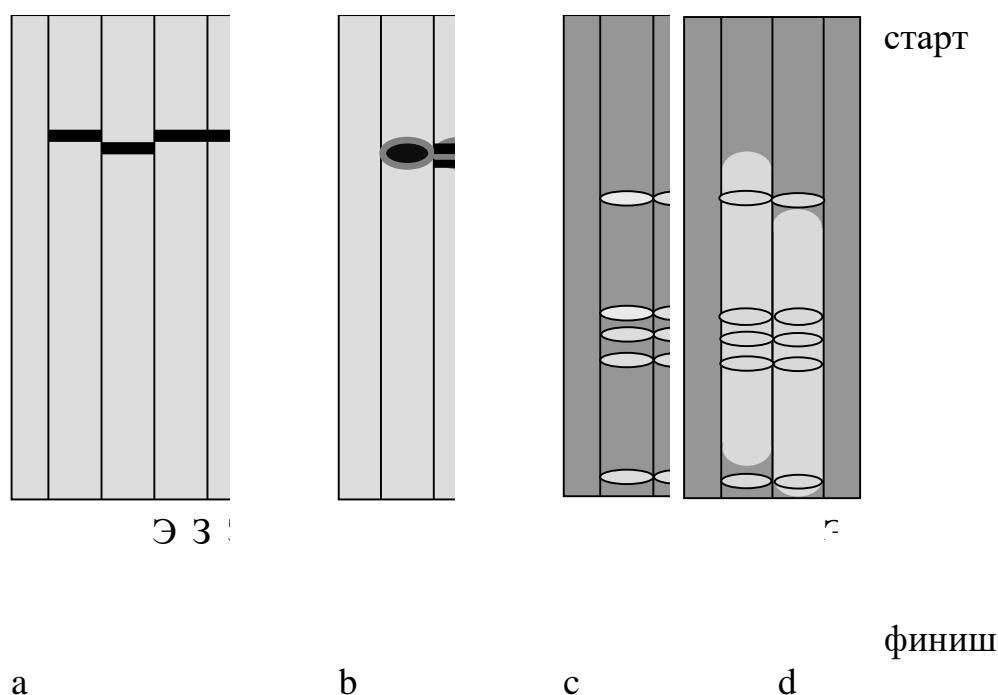


Рисунок 2. Исследование изменения изоферментных спектров глутаматдегидрогеназы в норме (а) и после ЭМИ облучения (б); супероксиддисмутазы в норме (в) и после ЭМИ облучения – исчезновение активности одних и уменьшение активности других полос (г); Э – эндосперм, З – зародыш

По результатам проведенных поисковых исследований была выявлена сложная картина проявления эффектов, вызванных воздействием различных видов излучения на ферментные системы глутаматдегидрогеназы и супероксиддисмутазы эндоспермов и зародышей семян сосны обыкновенной. Была выявлена специфика проявления ферментных систем на стрессирующие воздействия [19]. Динамика изменений в функционировании ГДГ и СОД после облучения является неоднозначной и зависит от вида воздействия и продолжительности времени облучения.

Фермент СОД является общим для всех изученных аэробных организмов [44]. Его роль заключается в защите организмов от токсичных восстановленных форм кислорода, особенно в условиях экологического стресса. Таким образом, СОД важен для обеспечения устойчивости растений к неблагоприятным условиям.

Академическое исследование [45] рассмотрело влияние гипоксии, аноксии и последующей аэрации на активность и экспрессию изоформ супероксиддисмутазы (СОД) в корнях пшеницы (*Triticum aestivum L.*). Было обнаружено, что гипоксия и последующая повторная аэрация не вызывали значительных изменений в структуре изоферментов СОД по сравнению с аэрированным контролем. Изучено влияние гипоксии, аноксии и повторной аэрации на ферментативную активность и экспрессию изоформ супероксиддисмутазы (СОД) в корнях пшеницы (*Triticum aestivum L.*) [45]. В отличие от гипоксии и повторной аэрации, аноксия вызвала появление

дополнительных полос активности СОД в нативных гелях, что привело к увеличению общей активности. Эти дополнительные полосы изоформы СОД сохранялись в течение последующего периода восстановления. Важно отметить, что повторная аэрация после гипоксии и аноксии привела к увеличению содержания перекиси водорода в корнях. Исследования, проведенные авторами, показали, что гипоксия не привела к значительным изменениям в уровнях транскрипта СОД и белка. Это подтверждает гипотезу о высокой стабильности фермента СОД, который сохраняет свою активность даже при сильном стрессе окружающей среды. В отношении влияния ЭМИ облучения можно сделать вывод, что изменения активности происходят быстрее при более коротком времени обработки. Это соответствует данным об ускоренной стимуляции СОД низкими концентрациями озона по сравнению с его высокими концентрациями, которые были получены ранее [46].

В общем и целом, облучение влажных семян способствует более быстрой и долгосрочной реакции. Повторные изменения, отмеченные на более поздних этапах, после нормализации спектров, могут быть связаны с истощением компенсаторных механизмов клеток. Другие исследования также отмечают зависимость эффекта воздействия от длительности облучения и динамики изменений в период после воздействия стрессирующих факторов [35, 47-50].

Исследования, проведенные авторами [51], демонстрируют, что коронный разряд положительно влияет на энергию прорастания семян *Pinus sylvestris* L., увеличивая ее на 11...18.5 %, а также на незначительное увеличение всхожести.

В рядах исследований [52, 53], посвященных обработке семян Вики обыкновенной (*Vicia sativa* L.) и хризантемы Латирус (*Lathyrus chrysanthus* Boiss.) низкими дозами гамма-излучения, было установлено, что обработка увеличивает активность ферментов САТ, SOD и АРХ, что повышает устойчивость саженцев к соли и засухе.

После обработки семян сосны электромагнитным облучением происходит активация стресс-фактора, который может быть выявлен при исследовании ферментативной системы и повышает энергетическую активность и всхожесть семян. Однако, по прошествии времени, стимулирующий эффект ограниченной продолжительности, связанный с действием стресс-фактора, исчезает. В эксперименте по выращиванию сеянцев в открытом грунте было обнаружено, что обработанные семена имели более высокую всхожесть и энергетическую активность, однако, рост сеянцев не превышал уровня контрольной группы (необработанных семян).

ВЫВОДЫ

Исследование предпосевной обработки семян *Pinus sylvestris* L. электромагнитным облучением показало, что данная методика приводит к повышению всхожести и энергии прорастания указанных семян.

В ходе проведения эксперимента было обнаружено, что облучение семян *Pinus sylvestris* L. электромагнитным излучением в течение 5 минут при

оптимальной дозе привело к увеличению всхожести до 77 %, что на 12 % превосходит показатель контрольной группы, достигающей 65 %.

Путем проведения лабораторных исследований были выявлены ускоренные физиологические процессы, сопутствующие прорастанию обработанных семян, что отмечалось уже на пятый день наблюдения.

В результате исследований ферментных систем глутаматдегидрогеназы и супероксиддисмутазы семян *Pinus sylvestris* L. была обнаружена неспецифическая реакция на стрессирующие воздействия электромагнитного облучения, которая проявляется сначала в активации этих ферментов, а затем в их постепенном восстановлении к нормальному уровню.

Список литературы

1. Korablev R A, Belokurov V P and Belokurov S V Theoretical studies of filtration movement of moisture in capillaries of woody plants. *IOP C. Ser. Earth Env.* **595** 012058 DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012058
2. Kondrateva N P, Krasnolutsкая M G, Dukhtanova N V and Obolensky N V 2019 Effect of ultraviolet radiation the germination rate of tree seeds. *IOP C. Ser. Earth. Env.* **226** 012049 DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012049
3. Kim J H, Lee J-K, Kim H-G, Kim K-B and Kim H R 2019 Possible effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on central nerve system. *Biomol Ther (Seoul)* **27** (3) 265-275 DOI: 10.4062/biomolther.2018.152
4. Belokurov V P, Belokurov S V, Korablev R A, et al. 2018 Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes *Journal of Physics: Conference Series* 1015 032132 DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032132
5. Vergallo C and Dini L 2018 Comparative analysis of biological effects induced on different cell types by magnetic fields with magnetic flux densities in the range of 1-60 mT and frequencies up to 50 Hz. *Sustainability* **10** (8) 2776 DOI: 10.3390/su10082776
6. Zhang X, Yarema K and Xu A 2017 Biological effects of static magnetic fields. Springer Singapore P 220 DOI: 10.1007/978-981-10-3579-1
7. Zaguła G, Saletnik B, Bajcar M, Saletnik A and Puchalski C 2021 Preliminary research on the influence of a pulsed magnetic field on the cationic profile of sunflower, cress, and radish sprouts and on their germination rate. *Appl Sci* **11** (20) 9678 DOI: 10.3390/app11209678
8. Korablev R A, Belokurov V P and Belokurov S V 2021 Influence of anthropogenic impact of vehicles on roadside forest plantations *IOP C. Ser. Earth Env.* **875** 012079 DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/0120792
9. Belokurov V P, Belokurov S V, Shtepa A A, Korablev R A and Busarin E N 2020 Passive transport safety based on the calculation of the temperature regimes of brake units taking into account their heat dissipation and thermal resistance to heat dissipation. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1902** 012030 DOI: 10.1088/1742-6596/1902/1/012030

10. Vergallo C, Panzarini E, Tenuzzo B A, Mariano S, Tata A M and Din L 2020 Moderate static magnetic field (6 mT)-induced lipid rafts rearrangement increases silver NPs uptake in Human lymphocytes. *Molecules* **25** (6) 1398 DOI: 10.3390/molecules25061398
11. Payez A, Ghanati F, Behmanesh M, Abdolmaleki P, Hajnorouzi A and Rajabbeig E 2013 Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and a 10-KHz electromagnetic field. *Electromagn Biol Med* **32** (4) pp 417-429 DOI: 10.3109/15368378.2012.735625
12. Pietruszewski S 2014 Electromagnetic fields, impact on seed germination and plant growth. *Encyclopedia of Agrophysics. EESS* pp 267-269 DOI: 10.1007/978-90-481-3585-1_52
13. Belokurov V P, Belokurov S V, Korablev R A and Shtepa A A 2018 Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1015** (3) 032132 DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032132
14. Katsenios N, Bilalis D, Efthimiadou A et al 2016 Role of pulsed electromagnetic field on enzyme activity, germination, plant growth and yield of durum wheat. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* Vol 6 pp 152-158 DOI: 10.1016/j.bcab.2016.03.010
15. Kundu A, Gupta B, Mallick A I and Pal S K 2016 Effects of non-ionizing electromagnetic radiation on capsicum annum seed germination and subsequent sapling growth – A time study. *International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom), Durgapur IEEE* pp 1-6 DOI: 10.1109/MicroCom.2016.7522544
16. Korablev R A, Belokurov V P and Busarin E N 2020 The role of energy potential in the mass transfer of moisture in the capillaries of woody plants. *IOP C. Ser. Earth Env.* **595** 012057 DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012057
17. Ercan I, Tombuloglu H, Alqahtani N et al 2022 Magnetic field effects on the magnetic properties, germination, chlorophyll fluorescence, and nutrient content of barley (*Hordeum vulgare* L). *Plant Physiology and Biochemistry* **170** (1) pp 36-48 DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.11.033
18. Chepurenko N V, Borisova I G and Budnitskaya E V 1977 Activity and isoenzyme composition of lipoxygenase of X-irradiated pea seeds. (AN SSSR, Moscow. Inst. Biokhimii) *Radiobiologiya* **17** (2) pp 212-215 https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:9389136
19. Korablev R A, Belokurov V P and Busarin E N 2021 Effect mechanisms of ultrahigh-frequency radiation on biological objects Influence of anthropogenic impact of vehicles on roadside forest plantations *IOP C. Ser. Earth Env.* **875** 012017 DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012017
20. ISTA 2021. *International Rules for Seed Testing*. Available at: https://www.seedtest.org/en/international-rules-for-seed-testing-_content---1--1083.html
21. GOST 13056.6-97 Seeds of Trees and Shrubs. Method for Determination of Germination. 1998-07-01. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025567> [in Russian]

- 22.Ortner M J, Galvin M J, Chignell C F and McRee D I 1981 A circular dichroism study of human erythrocyte ghost proteins during exposure to 2450 MHz microwave radiation. *Cell Biophys* **3** (4) pp 335-347 DOI: 10.1007/BF02785118
- 23.Gorelov M V and Bastron T N 2020 Studying SHF electromagnetic field modes on germinating ability of seeds of coniferous species. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **315** 052069 DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052069
- 24.Aniszewska M, Gendek A, Tulska E, Peška P and Moskalik T 2019 Influence of the duration of microwave irradiation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones on the quality of harvested seeds. *Forests* **10** (12) 1108 DOI: 10.3390/f10121108
- 25.Sîngeorzan S-M, Holonec L, Truta A M et al 2022 The influence of physical treatments on seed germination and seedling development of spruce (*Picea abies* L Karst). *Forests* **13** (9) 1498 DOI: 10.3390/f13091498
- 26.Aniszewska M, Zychowicz W and Gendek A 2020 The effectiveness of short-term microwave irradiation on the process of seed extraction from Scots pine cones (*Pinus sylvestris* L.). *iForest - Biogeosciences and Forestry* **13** (1) pp 73-79 DOI: 10.3832/ifor3089-012
- 27.Ozel H, Cetin M, Sevik H, Varol T, Isik B and Yaman B 2021 The effects of base station as an electromagnetic radiation source on flower and cone yield and germination percentage in *Pinus brutia* Ten. *Biol Futur* **72** (3) pp 359-365 DOI: 10.1007/s42977-021-00085-1
- 28.Allis J W and Sinha B L 1981 Fluorescence depolarization studies of red cell membrane fluidity. The effect of exposure to 1.0-GHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics* **2** (1) pp 13-22 DOI: 10.1002/bem.2250020103
- 29.Hasanuzzaman M, Bhuyan B, Zulfiqar F, et al. 2020 Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator *Antioxidants* Vol **9**, Issue 8 (681) pp 1-52 DOI: 10.3390/antiox9080681
- 30.Yao W & Shen Y 2015 Effect of magnetic treatment on seed germination of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Scandinavian Journal of Forest Research* **30** (8) pp 639-642 DOI: 10.1080/02827581.2015.1048717
- 31.Radhakrishnan R 2018 Seed pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds. *Physiol Mol Biol Plants* **24** (2) pp 343-347 DOI: 10.1007/s12298-018-0505-8
- 32.Liu J, Xue T, Shen Y and Wang Z 2019 Static magnetic field treatments affect the light-induced germination of dormant *Paulownia elongata* seed. *Intl J Agric Biol* **21** (4) pp 841-847 DOI: 10.17957/IJAB/15.0964
- 33.Kuzugudenli E 2018 Effect of microwave radiation on growth and germination of Stone pine (*Pinus Pinea* L) seedlings. *Applied ecology and environmental research* **16** (3) pp 2837-2844 DOI: 10.15666/aer/1603_28372844
- 34.Nithiuthai S and Allen J R 1984 Effects of ultraviolet irradiation on epidermal Langerhans cells in guinea-pigs. *Immunology* **51** (1) - pp 143-151 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6228518/>

35. White J A and Scandalios J G 1988 Isolation and characterization of a cDNA for mitochondrial manganese superoxide dismutase (SOD-3) of maize and its relation to other manganese superoxide dismutases. *Biochim et biophys acta* **22** (1) pp 61-70 DOI: 10.1016/0167-4781(88)90025-5
36. Bridges S M and Salin M L 1981 Distribution of iron-containing superoxide dismutase in vascular plants. *Plant Physiol.* **68** (2) 275 DOI: 10.1104/pp.68.2.275
37. Hashimoto T and Tajima M 1980 Effects of ultraviolet irradiation on growth and pigmentation in seedlings. *Plant Cell Physiol.* **21** (8) pp 1559-1571 DOI: 10.1093/pcp/21.8.1559
38. Lazim S K and Ramadhan, M N 2020 Effect of microwave and UV-C radiation on some germination parameters of barley seed using mathematical models of gompertz and logistic. *Basrah Journal of Agricultural Sciences* **33** (2) pp 28-41 DOI: 10.37077/25200860.2020.33.2.03
39. Alscher R G, Erturk N and Heath L S 2002 Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *J. Exp. Bot.* **53** (372) pp 1331-1341 DOI: 10.1093/jexbot/53.372.1331
40. Pordel R, Payamnoor V, Mohammadi J et al 2022 Improving the performance of birch seeds (*Betula pendula*) using nanoprime and magnetic field. *Iranian Journal of Forest* **13** (4) pp. 425-436 DOI: 10.22034/IJF.2021.289718.1787
41. Pissolato M D, Silveira N M, Prativiera P J C, Machado E C, Seabra A B, Pelegrino M T, Sodek L and Ribeiro R V 2020 Enhanced nitric oxide synthesis through nitrate supply improves drought tolerance of sugarcane plants. *Frontiers in Plant Science.* **11** pp 1-14 DOI: 10.3389/fpls.2020.00970
42. Ighodaro O M, Akinloy O A 2018 First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine.* **54** (4) pp 287-293 DOI: 10.1016/j.ajme.2017.09.001
43. Wang Y, Branicky R, Noë A, and Hekimi S 2018 Superoxide dismutase: Dual roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling *J Cell Biol* **217**(6) pp 1915-1928. DOI: 10.1083/jcb.201708007
44. Bowler C, Camp W V, Montagu M V, Inzé D and Asada K 1994 Superoxide dismutase in plants *Critical Reviews in Plant Sciences* Vol 13 (3) pp 199-218 DOI: 10.1080/07352689409701914
45. Biemelt S, Keetman U, Mock H-P and Grimm B 2001 Expression and activity of isoenzymes of superoxide dismutase in wheat roots in response to hypoxia and anoxia. *Plant, Cell & Environment.* **23** (2) pp 135-144 DOI: 10.1046/j.1365-3040.2000.00542.x
46. Pigeolet E, Corbisier P, Houbion A, Lambert D, Michiels C, Raes M, Zachary M D and Remacle J 1990 Glutathione peroxidase, superoxide dismutase, and catalase inactivation by peroxides and oxygen derived free radicals. *Mech. Ageing Dev.* **51** (3) pp 283-297 DOI: 10.1016/0047-6374(90)90078-t
47. Zvyagintseva T V, Myronchenko S I, Kytsiuk N I and Naumova O V 2020 Effect of local UV radiation on the morphofunctional state of the skin of guinea

- pigs in early and remote periods after irradiation. *Wiad Lek.* **73** (4) pp 705-707
DOI: 10.36740/WLek202004115
48. Ganesh N, Pooja R, 2021 Wi-fi radiation negatively influences plant growth and biochemical responses of *Capsicum annuum* L var Pusa jwala. *Current Chemical Biology*, **15** (2) pp 182-187
DOI: 10.2174/2212796814999201228193703
49. Kuzugudenli E 2018 Effect of microwave radiation on growth and germination of stone pine (*Pinus pinea* L.) seedlings. *Applied Ecology and Environmental Research* **16** (3) pp 2837-2844 DOI: 10.15666/aeer/1603_28372844
50. Kırdar E, Yücedağ C and Balaban B 2016 The effects of magnetic field on germination of seeds and growth of seedlings of Stone pine. *Journal of Forests* **3** (1) pp 1-6 DOI: 10.18488/journal.101/2016.3.1/101.1.1.6
51. Morozov G A, Blokhin V I, Stakhova N E and Oduwole O O 2013 Microwave technology for treatment seed. *World Journal of Agricultural Research*. **1** (3) 39 DOI:10.12691/wjar-1-3-2
52. Beyaz R 2020 Impact of gamma irradiation pretreatment on the growth of common vetch (*Vicia sativa* L.) seedlings grown under salt and drought stress. *Int. J. Radiat. Biol.* **96** (2) 257 DOI: 10.1080/09553002.2020.1688885
53. Beyaz R, Kahramanogullari C T, Yildiz C, Darcin E C and Yildiz M 2016 The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under in vitro conditions. *J. Environ. Radioactiv.* **162-163** 129 DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.05.006

References

1. Korablev R A, Belokurov V P and Belokurov S V Theoretical studies of filtration movement of moisture in capillaries of woody plants. *IOP C. Ser. Earth Env.* **595** 012058 DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012058
2. Kondrateva N P, Krasnolutsckaya M G, Dukhtanova N V and Obolensky N V 2019 Effect of ultraviolet radiation the germination rate of tree seeds. *IOP C. Ser. Earth. Env.* **226** 012049 DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012049
3. Kim J H, Lee J-K, Kim H-G, Kim K-B and Kim H R 2019 Possible effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on central nerve system. *Biomol Ther (Seoul)* **27** (3) 265-275 DOI: 10.4062/biomolther.2018.152
4. Belokurov V P, Belokurov S V, Korablev R A, et al. 2018 Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes *Journal of Physics: Conference Series* 1015 032132 DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032132
5. Vergallo C and Dini L 2018 Comparative analysis of biological effects induced on different cell types by magnetic fields with magnetic flux densities in the range of 1-60 mT and frequencies up to 50 Hz. *Sustainability* **10** (8) 2776 DOI: 10.3390/su10082776
6. Zhang X, Yarema K and Xu A 2017 Biological effects of static magnetic fields. Springer Singapore P 220 DOI: 10.1007/978-981-10-3579-1

7. Zagała G, Saletnik B, Bajcar M, Saletnik A and Puchalski C 2021 Preliminary research on the influence of a pulsed magnetic field on the cationic profile of sunflower, cress, and radish sprouts and on their germination rate. *Appl Sci* **11** (20) 9678 DOI: 10.3390/app11209678
8. Korablev R A, Belokurov V P and Belokurov S V 2021 Influence of anthropogenic impact of vehicles on roadside forest plantations *IOP C. Ser. Earth Env.* **875** 012079 DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/0120792
9. Belokurov V P, Belokurov S V, Shtepa A A, Korablev R A and Busarin E N 2020 Passive transport safety based on the calculation of the temperature regimes of brake units taking into account their heat dissipation and thermal resistance to heat dissipation. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1902** 012030 DOI: 10.1088/1742-6596/1902/1/012030
10. Vergallo C, Panzarini E, Tenuzzo B A, Mariano S, Tata A M and Din L 2020 Moderate static magnetic field (6 mT)-induced lipid rafts rearrangement increases silver NPs uptake in Human lymphocytes. *Molecules* **25** (6) 1398 DOI: 10.3390/molecules25061398
11. Payez A, Ghanati F, Behmanesh M, Abdolmaleki P, Hajnorouzi A and Rajabbeig E 2013 Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and a 10-KHz electromagnetic field. *lectromagn Biol Med* **32** (4) pp 417-429 DOI: 10.3109/15368378.2012.735625
12. Pietruszewski S 2014 Electromagnetic fields, impact on seed germination and plant growth. *Encyclopedia of Agrophysics. EESS* pp 267-269 DOI: 10.1007/978-90-481-3585-1_52
13. Belokurov V P, Belokurov S V, Korablev R A and Shtepa A A 2018 Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1015** (3) 032132 DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032132
14. Katsenios N, Bilalis D, Efthimiadou A et al 2016 Role of pulsed electromagnetic field on enzyme activity, germination, plant growth and yield of durum wheat. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* Vol 6 pp 152-158 DOI: 10.1016/j.bcab.2016.03.010
15. Kundu A, Gupta B, Mallick A I and Pal S K 2016 Effects of non-ionizing electromagnetic radiation on capsicum annuum seed germination and subsequent sapling growth – A time study. *International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom), Durgapur IEEE* pp 1-6 DOI: 10.1109/MicroCom.2016.7522544
16. Korablev R A, Belocurov V P and Busarin E N 2020 The role of energy potential in the mass transfer of moisture in the capillaries of woody plants. *IOP C. Ser. Earth Env.* **595** 012057 DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012057
17. Ercan I, Tombuloglu H, Alqahtani N et al 2022 Magnetic field effects on the magnetic properties, germination, chlorophyll fluorescence, and nutrient content of barley (*Hordeum vulgare* L). *Plant Physiology and Biochemistry* **170** (1) pp 36-48 DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.11.033
18. Chepurenko N V, Borisova I G and Budnitskaya E V 1977 Activity and isoenzyme composition of lipoxxygenase of X-irradiated pea seeds. (AN SSSR,

- Moscow. Inst. Biokhimii) Radiobiologiya **17** (2) pp 212-215
https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:9389136
19. Korablev R A, Belokurov V P and Busarin E N 2021 Effect mechanisms of ultrahigh-frequency radiation on biological objects Influence of anthropogenic impact of vehicles on roadside forest plantations *IOP C. Ser. Earth Env.* **875** 012017 DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012017
 20. ISTA 2021. *International Rules for Seed Testing*. Available at: https://www.seedtest.org/en/international-rules-for-seed-testing-_content---1--1083.html
 21. GOST 13056.6-97 Seeds of Trees and Shrubs. Method for Determination of Germination. 1998-07-01. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025567> [in Russian]
 22. Ortner M J, Galvin M J, Chignell C F and McRee D I 1981 A circular dichroism study of human erythrocyte ghost proteins during exposure to 2450 MHz microwave radiation. *Cell Biophys* **3** (4) pp 335-347 DOI: 10.1007/BF02785118
 23. Gorelov M V and Bastron T N 2020 Studying SHF electromagnetic field modes on germinating ability of seeds of coniferous species. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **315** 052069 DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052069
 24. Aniszewska M, Gendek A, Tulska E, Peška P and Moskalik T 2019 Influence of the duration of microwave irradiation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones on the quality of harvested seeds. *Forests* **10** (12) 1108 DOI: 10.3390/f10121108
 25. Singeorzan S-M, Holonec L, Truta A M et al 2022 The influence of physical treatments on seed germination and seedling development of spruce (*Picea abies* L Karst). *Forests* **13** (9) 1498 DOI: 10.3390/f13091498
 26. Aniszewska M, Zychowicz W and Gendek A 2020 The effectiveness of short-term microwave irradiation on the process of seed extraction from Scots pine cones (*Pinus sylvestris* L.). *iForest - Biogeosciences and Forestry* **13** (1) pp 73-79 DOI: 10.3832/ifor3089-012
 27. Ozel H, Cetin M, Sevik H, Varol T, Isik B and Yaman B 2021 The effects of base station as an electromagnetic radiation source on flower and cone yield and germination percentage in *Pinus brutia* Ten. *Biol Futur* **72** (3) pp 359-365 DOI: 10.1007/s42977-021-00085-1
 28. Allis J W and Sinha B L 1981 Fluorescence depolarization studies of red cell membrane fluidity. The effect of exposure to 1.0-GHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics* **2** (1) pp 13-22 DOI: 10.1002/bem.2250020103
 29. Hasanuzzaman M, Bhuyan B, Zulfiqar F, et al. 2020 Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator *Antioxidants* Vol **9**, Issue 8 (681) pp 1-52 DOI: 10.3390/antiox9080681
 30. Yao W & Shen Y 2015 Effect of magnetic treatment on seed germination of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Scandinavian Journal of Forest Research* **30** (8) pp 639-642 DOI: 10.1080/02827581.2015.1048717
 31. Radhakrishnan R 2018 Seed pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds. *Physiol Mol Biol Plants* **24** (2) pp 343-347 DOI: 10.1007/s12298-018-0505-8

32. Liu J, Xue T, Shen Y and Wang Z 2019 Static magnetic field treatments affect the light-induced germination of dormant *Paulownia elongata* seed. *Intl J Agric Biol* **21** (4) pp 841-847 DOI: 10.17957/IJAB/15.0964
33. Kuzugudenli E 2018 Effect of microwave radiation on growth and germination of Stone pine (*Pinus Pinea* L) seedlings. *Applied ecology and environmental research* **16** (3) pp 2837-2844 DOI: 10.15666/aeer/1603_28372844
34. Nithiuthai S and Allen J R 1984 Effects of ultraviolet irradiation on epidermal Langerhans cells in guinea-pigs. *Immunology* **51** (1) - pp 143-151 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6228518/>
35. White J A and Scandalios J G 1988 Isolation and characterization of a cDNA for mitochondrial manganese superoxide dismutase (SOD-3) of maize and its relation to other manganese superoxide dismutases. *Biochim et biophys acta* **22** (1) pp 61-70 DOI: 10.1016/0167-4781(88)90025-5
36. Bridges S M and Salin M L 1981 Distribution of iron-containing superoxide dismutase in vascular plants. *Plant Physiol.* **68** (2) 275 DOI: 10.1104/pp.68.2.275
37. Hashimoto T and Tajima M 1980 Effects of ultraviolet irradiation on growth and pigmentation in seedlings. *Plant Cell Physiol.* **21** (8) pp 1559-1571 DOI: 10.1093/pcp/21.8.1559
38. Lazim S K and Ramadhan, M N 2020 Effect of microwave and UV-C radiation on some germination parameters of barley seed using mathematical models of gompertz and logistic. *Basrah Journal of Agricultural Sciences* **33** (2) pp 28-41 DOI: 10.37077/25200860.2020.33.2.03
39. Alscher R G, Erturk N and Heath L S 2002 Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *J. Exp. Bot.* **53** (372) pp 1331-1341 DOI: 10.1093/jexbot/53.372.1331
40. Pordel R, Payamnoor V, Mohammadi J et al 2022 Improving the performance of birch seeds (*Betula pendula*) using nanoprime and magnetic field. *Iranian Journal of Forest* **13** (4) pp. 425-436 DOI: 10.22034/IJF.2021.289718.1787
41. Pissolato M D, Silveira N M, Prativiera P J C, Machado E C, Seabra A B, Pelegriño M T, Sodek L and Ribeiro R V 2020 Enhanced nitric oxide synthesis through nitrate supply improves drought tolerance of sugarcane plants. *Frontiers in Plant Science.* **11** pp 1-14 DOI: 10.3389/fpls.2020.00970
42. Ighodaro O M, Akinloy O A 2018 First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine.* **54** (4) pp 287-293 DOI: 10.1016/j.ajme.2017.09.001
43. Wang Y, Branicky R, Noë A, and Hekimi S 2018 Superoxide dismutase: Dual roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling *J Cell Biol* 217(6) pp 1915-1928. DOI: 10.1083/jcb.201708007
44. Bowler C, Camp W V, Montagu M V, Inzé D and Asada K 1994 Superoxide dismutase in plants *Critical Reviews in Plant Sciences* Vol 13 (3) pp 199-218 DOI: 10.1080/07352689409701914
45. Biemelt S, Keetman U, Mock H-P and Grimm B 2001 Expression and activity of isoenzymes of superoxide dismutase in wheat roots in response to hypoxia and

- anoxia. *Plant, Cell & Environment*. **23** (2) pp 135-144 DOI: 10.1046/j.1365-3040.2000.00542.x
46. Pigeolet E, Corbisier P, Houbion A, Lambert D, Michiels C, Raes M, Zachary M D and Remacle J 1990 Glutathione peroxidase, superoxide dismutase, and catalase inactivation by peroxides and oxygen derived free radicals. *Mech. Ageing Dev.* **51** (3) pp 283-297 DOI: 10.1016/0047-6374(90)90078-t
47. Zvyagintseva T V, Myronchenko S I, Kytsiuk N I and Naumova O V 2020 Effect of local UV radiation on the morphofunctional state of the skin of guinea pigs in early and remote periods after irradiation. *Wiad Lek.* **73** (4) pp 705-707 DOI: 10.36740/WLek202004115
48. Ganesh N, Pooja R, 2021 Wi-fi radiation negatively influences plant growth and biochemical responses of *Capsicum annum* L var Pusa jwala. *Current Chemical Biology*, **15** (2) pp 182-187 DOI: 10.2174/2212796814999201228193703
49. Kuzugudenli E 2018 Effect of microwave radiation on growth and germination of stone pine (*Pinus pinea* L.) seedlings. *Applied Ecology and Environmental Research* **16** (3) pp 2837-2844 DOI: 10.15666/aeer/1603_28372844
50. Kırdar E, Yücedağ C and Balaban B 2016 The effects of magnetic field on germination of seeds and growth of seedlings of Stone pine. *Journal of Forests* **3** (1) pp 1-6 DOI: 10.18488/journal.101/2016.3.1/101.1.1.6
51. Morozov G A, Blokhin V I, Stakhova N E and Oduwole O O 2013 Microwave technology for treatment seed. *World Journal of Agricultural Research*. **1** (3) 39 DOI:10.12691/wjar-1-3-2
52. Beyaz R 2020 Impact of gamma irradiation pretreatment on the growth of common vetch (*Vicia sativa* L.) seedlings grown under salt and drought stress. *Int. J. Radiat. Biol.* **96** (2) 257 DOI: 10.1080/09553002.2020.1688885
53. Beyaz R, Kahramanogullari C T, Yildiz C, Darcin E C and Yildiz M 2016 The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under in vitro conditions. *J. Environ. Radioactiv.* **162-163** 129 DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.05.006

**Кораблев Р.А.¹, Белокуров В.П.¹,
Белокуров С.В.², Бусарин Э.Н.¹, Штепа А.А.¹**

¹*Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж;*

²*Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж*

Энергия распределения сорбата в поле сорбционных сил капиллярно-пористых древесных материалов

Аннотация. В данной работе рассматриваются исследования роста и развития лесных насаждений, расположенных вдоль автомобильных магистралей, в результате техногенного воздействия от эмиссии автотранспорта. Основной целью данной работы является определение зависимости от влияния техногенного воздействия эмиссии продуктов сгорания в автотранспорте на бонитет придорожных лесных насаждений. В статье предлагается оценивать продуктивность лесных насаждений, кроме используемого в настоящее время бонитета (определяется по средней высоте и возрасту древостоев), по величине приращения биомассы за контролируемый временной период. Это будет характеризовать термодинамику биологического процесса и его развитие во времени, что является важным особенно в местах экотонов вдоль автомагистралей. С этой целью получено уравнение по расчету динамики роста биомассы лесного насаждения, которое позволяет определить эффективность использования фотосинтеза и сравнить его с эталонными данными экологического исследования. Это является особенно важным при техногенном воздействии автомобильного транспорта на придорожные лесные насаждения. Результаты проводимых исследований могут быть использованы для прогностических расчетов биомассы растительного покрова и по контролю за экологическим состоянием придорожных лесных насаждений.

Ключевые слова: сорбат, древесные материалы, бонитет, лесные насаждения

**Korablev R.A.¹, Belokurov V.P.¹, Belokurov S.V.²,
Busarin E.N.¹, Shtepa A.A.¹**

*¹Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh;*

²Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh

Energy of distribution of sorbate in the field of sorption forces of capillary-porous wood materials

Abstract. This paper discusses studies on the growth and development of forest plantations located along highways as a result of the technological impact from vehicle emissions. The main objective of this work is to determine the dependence of the technological impact of exhaust emissions from vehicles on the bonitet of roadside forest plantations. The article proposes to evaluate the productivity of forest plantations, in addition to the currently used bonitet (determined by the average height and age of stands), by the amount of biomass growth over a controlled period of time. This will characterize the thermodynamics of the biological process and its development over time, which is especially important in ecotone areas along highways. For this purpose, an equation was obtained for calculating the dynamics of biomass growth in forest plantations, which allows determining the efficiency of photosynthesis and comparing it with benchmark data of environmental research. This is particularly important in the technological impact of automobile traffic on roadside forest plantations. The results of the conducted research can be used for prognostic calculations of plant biomass and for monitoring the environmental condition of roadside forest plantations.

Key words: sorbate, wood materials, bonitet, forest plantations

1. ВВЕДЕНИЕ

Рост и развитие придорожных лесных насаждений существенно зависят от экологических условий, которые формируются техногенным воздействием автомобильного транспорта. В современных условиях потоки автотранспорта на автомобильных магистралях значительно возросли, что приводит к загрязнению воздуха и почвы в придорожной зоне. Это оказывает негативное влияние на лесные насаждения. Основным источником техногенного загрязнения окружающей среды является эмиссия продуктов сгорания автомобильных двигателей.

Согласно системному анализу, техногенное воздействие автомобильного транспорта на лесные насаждения в придорожной полосе следует рассматривать как взаимодействие между двумя системами, отличающимися по своим закономерностям развития: технической системой «автомобильный транспорт и транспортные потоки» и экологической системой придорожных лесных полос. С учетом системного анализа, можно выделить два типа техногенного воздействия технической системы

«автомобильный транспорт и транспортные потоки» на экологическое состояние придорожных лесных насаждений, как указывает источник [1].

Первый тип - это прямое воздействие, которое проявляется в форме изъятия части экологической системы леса, необходимой для строительства дорожных сооружений, ведущее к полному уничтожению почвенного и растительного покрова, а также изменению водного режима грунтов. При этом происходит нарушение множества связей между экотопом (подсистемой неживой природы, включающей атмосферу, почву, гидросферу) и биоценозом (подсистемой живой природы, включающей фитоценоз, зооценоз и микробиоценоз).

Согласно системному анализу, техническая система «автомобильный транспорт и транспортные потоки» оказывает как прямое, так и косвенное техногенное воздействие на экологическое состояние придорожных лесных насаждений. Косвенное воздействие осуществляется через биотоп и представлено физическим и химическим воздействием, вызванным движением автотранспортных потоков [2]. Физическое воздействие, являющееся одним из сегментов косвенного технического воздействия, заключается в переносе пыли с поверхности дороги и обочин, а также в шумовом и вибрационном воздействии [3]. Химическое воздействие, в свою очередь, является основным элементом косвенного воздействия и представляет собой перенос вредных и токсичных веществ воздушным и водным путем, которые образуются в результате химических реакций при горении углеводородных топлив в двигателях внутреннего сгорания автомобилей.

В свете изложенного, техногенное воздействие автомобильного транспорта на придорожные лесные насаждения имеет неблагоприятные последствия для их роста и развития. Проведение научных исследований в области техногенного воздействия автомобильного транспорта на придорожные лесные насаждения позволит определить эффективные методы улучшения экологического состояния данных территорий

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение процессов переноса энергии и вещества в лесных насаждениях имеет значимость как с научной, так и с практической точек зрения. В частности, это включает разработку теории переноса, установление основных термодинамических закономерностей их протекания, а также создание эффективных методов решения связанных с ними задач. При анализе переноса в биологических системах лесных насаждений необходимо учитывать их открытость для потоков вещества и энергии, а также необратимый характер происходящих в них процессов [4].

В период с 2008 по 2022 годы проведены исследования в области экотопа придорожных лесных насаждений автомагистрали «Дон» на территории Учебно-Опытного лесхоза ВГЛТУ Воронежской области. Для анализа были выбраны три экотипически близкие пробные площади с сосновыми насаждениями, имеющие прямоугольную форму размером 30×60 метров и ориентированные параллельно магистрали. Во время исследования в

июне-августе в дневное время в обоих направлениях проходило около 3000 автомобилей в час, что значительно повышало антропогенную нагрузку насаждений. Контрольная зона была выбрана внутри лесных насаждений на расстоянии 100 метров от дороги. Изучение данных участков позволило отметить увеличение рекреационной дигрессии и антропогенной нагрузки при приближении к автомагистрали «Дон», что свидетельствует о значительном воздействии автомобильного транспорта на окружающую среду.

Рассматриваем лесной растительный покров, представленный сосновыми насаждениями Воронежской области, как функциональный блок биотического покрова лесных насаждений, состоящий из зеленых автотрофных растений. Данный блок накапливает в биосфере световую энергию в виде химических связей продуктов фотосинтеза, извлекает углекислый газ из атмосферы и гидросферы, и обогащает атмосферу и гидросферу кислородом [5].

В процессе теоретического исследования прироста биомассы придорожных лесных насаждений были применены методы дифференциального и интегрального исчисления [6-9]. Сформулированная математическая концепция, описывающая динамику роста биомассы лесного растительного покрова, демонстрирует способность к анализу эволюции сосновых насаждений, основанной на переменной абсорбции энергии почвой и растениями, а также на экологическом состоянии окружающей среды [10-12].

В рамках термодинамического подхода, рост и развитие лесных насаждений рассматриваются через наличие различных градиентов, таких как температурный, давлений, концентрации компонентов и химических потенциалов. Вследствие этого, возникают необратимые процессы, такие как диффузия, теплопроводность, химические реакции и прочие. В результате этих процессов выделяется энергия, необходимая для растительного покрова, которая затем расходуется на синтез органических веществ в случае его роста и увеличения биомассы.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Изменение энергии распределения в поле сорбционных сил (ΔE) при изменении энергии распределения (ΔE_φ) зависит от сорбционной активности (a), которая является мерой отклонения энергии распределения (ΔE_φ) молекул сорбата в поле сорбционных сил от их потенциальной энергии в идеальной системе, с которой это поле находится в состоянии равновесия. Она характеризует взаимодействие молекул сорбата между собой и с поверхностью сорбента (капилляров древесины). Сорбционная активность (a) растет с увеличением относительного давления сорбата (φ).

Влажностное состояние капиллярно-пористых древесных материалов характеризуется влагосодержанием и его изменением во времени. Удельным влагосодержанием (U) является отношение массы влаги, содержащейся в древесине (M_e) к массе абсолютно сухой древесины ($M_{сух}$), то есть $U = \frac{M_e}{M_{сух}}$

. Давление пара в окружающей среде древесного материала обозначается через

(P) и называется парциальным давлением пара окружающей среды. В случае если масса древесного материала, помещенного в среду с определенным (P) остается неизменной, то пар этой среды является равновесным паром, а его давление – равновесным парциальным давлением. В расчетах принята величина относительного давления пара воды (φ)

$$\varphi = \frac{P}{P_s}, \quad (1)$$

где P_s – насыщающее давление пара воды.

Капиллярно-пористый древесный материал, находящийся с постоянным (φ) и температурой (T), при внешнем барометрическом давлении с течением времени приходит в состояние влажностного равновесия с этой средой. Такое влажностное состояние является равновесным гигротермическим, а область, в которой возможно его достижение – гигротермической областью. В процессе установления влажностного равновесия изменение влагосодержания древесного материала сопровождается процессами массопереноса влажности как внутри капиллярно-пористого древесного материала, так и с поверхности листьев растительного покрова в окружающую среду (процесс транспирации).

Процесс увлажнения древесного материала, помещенного в среду с постоянными (φ) и (T), характеризуется сорбцией [14]. Принимаем, что полем сорбционных сил капиллярно-пористых древесных материалов (сорбентов) является пространство, в котором удерживается сорбат (вода). Процесс уменьшения влагосодержания древесного материала в среде с постоянными (φ) и (T) будет характеризовать десорбцию. Равновесное влагосодержание древесного материала при $\varphi = 1$ будет характеризоваться максимальным сорбционным (гигроскопическим) и обозначится (U_{m2}).

В гигротермической области $U \leq U_{m2}$. Гигротермическое равновесное состояние капиллярно-пористого древесного материала характеризуется функциональной зависимостью

$$U = F(\varphi, T). \quad (2)$$

Поле сорбционных сил в капиллярно-пористых древесных материалах является силовым полем, в котором молекулы воды (сорбат) взаимодействуют с его поверхностью (сорбентом) и между собой, обеспечивая при этом процессы диффузии. В случае, если не рассматривать межмолекулярное взаимодействие при диффузии, то количество молекул (n), обладающих потенциальной энергией (U), могло бы быть определено из уравнения Больцмана [15]

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{U}{kT}\right), \quad (3)$$

где n – количество частиц (молекул), имеющих потенциальную энергию (U); n_0 – количество частиц (молекул), имеющих потенциальную энергию ($U_0 = 0$); k – постоянная Больцмана.

Для случая наличия поля сорбционных сил в капиллярно-пористом древесном материале, которое, как и в законе Больцмана (3), будет

характеризовать невзаимодействующие материальные частицы, уравнение (3) может быть записано в виде:

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{\Delta E'_\varphi}{kT}\right), \quad (4)$$

или

$$\Delta E'_\varphi = -kT \ln \frac{n}{n_0}, \quad (5)$$

где $\Delta E'_\varphi$ – разность энергий распределения, соответствующих находящимся в поле сорбционных сил (n) и (n_0) молекул сорбата (воды), то есть $\Delta E'_\varphi = E'_n - E'_{n_0}$.

Энергией распределения ($\Delta E'_\varphi$) молекул сорбата в поле сорбционных сил является потенциальная энергия молекул сорбата в поле сорбционных сил и ее изменения, измеряемого работой, которую необходимо совершить по равномерному распределению этих молекул в данном поле против сил взаимодействия между собой и с поверхностью капиллярно-пористых структур древесного материала (что соответствует 1-му закону термодинамики), то есть

$$\Delta E'_\varphi = U + A, \quad (6)$$

где U – потенциальная энергия молекул сорбата (воды) в поле сорбционных сил; A – работа в поле сорбционных сил взаимодействия молекул сорбата между собой и с поверхностью сорбента при перемещении (движении) сорбата в капиллярно-пористой структуре древесного материала.

Академиком А.В. Лыковым установлено, что разные капиллярно-пористые древесные материалы, имеющие различное влагосодержание, в условиях влажностного равновесия имеют одни и те же значения относительного давления (φ) и изменения энергии распределения ($\Delta E'_\varphi$). Поэтому, если различные капиллярно-пористые древесные материалы, приведенные в контактное соприкосновение и помещенные в закрытую систему, имеют одно и тоже значение ($\Delta E'_\varphi$), то их влагосодержание с течением времени остается постоянным, то есть поток массы между ними отсутствует [15, 16].

Если же выбрать потенциал массопереноса таким образом, чтобы поток массы сорбата был направлен от точки с большим потенциалом, к точке с меньшим, то потенциал массопереноса в капиллярно-пористых телах будет соответствовать [15]

$$\Theta = -\Delta E'_\varphi, \quad (7)$$

где Θ – потенциал массопереноса сорбата.

В случае молярного распределения уравнений (4) и (5) могут быть записаны в виде

$$m = m_0 \exp\left(-\frac{\Delta E'_\varphi}{RT}\right), \quad (8)$$

или

$$\Delta E'_{\varphi} = -RT \ln \frac{m}{m_0}, \quad (9)$$

где m – количество молей, обладающих молярной энергией распределения (E'_m); m_0 – количество молей, обладающих молярной энергией распределения (E'_{m0}); R – универсальная газовая постоянная.

Если принять, что известно удельное равновесное влагосодержание капиллярно-пористого древесного материала (U_0), которое соответствует определенному значению (φ_0) при температуре (T), то при той же температуре, но при другом значении (φ) влагосодержание (U) может быть определено из соотношения

$$\frac{m}{m_0} = \frac{U}{U_0}, \quad (10)$$

где U – влагосодержание капиллярно-пористой древесины, содержащей (m) молей воды; U_0 – влагосодержание капиллярно-пористой древесины, содержащей (m) молей воды.

На основании равенства (8) из уравнения (6) получим следующее уравнение изотермы сорбции капиллярно-пористого материала древесины

$$U = U_0 \exp\left(-\frac{\Delta E'_{\varphi}}{RT}\right). \quad (11)$$

Уравнение (11) связывает влагосодержание (U) с изменением молярной энергии распределения ($\Delta E'_{\varphi}$) сорбата (воды) в поле сорбционных сил.

С достаточной степенью точности удовлетворяющему техническим расчетам с учетом (1) запишем

$$\varphi = \frac{P}{P_s} = \frac{m}{m_0}. \quad (12)$$

Тогда уравнение (9) с учетом (12) примет следующий вид при расчете энергии распределения

$$\Delta E'_{\varphi} = -RT \ln \frac{P}{P_s} = -RT \ln \varphi. \quad (13)$$

Изменение энергии распределения ($\Delta E'_{\varphi}$) в поле сорбционных сил капиллярно-пористых древесных материалов при изменении в них влагосодержания от (U_0) до (U) может быть определено из уравнения (11) в результате логарифмирования, то есть

$$\Delta E'_{\varphi} = -RT \ln \frac{U}{U_0}. \quad (14)$$

Влагосодержание (U) и (U_0) в древесных образцах может быть определено в результате экспериментальных исследований.

Увеличение энергии распределения сорбата при его переходе из равновесного состояния в поле сорбционных сил с учетом сорбционной активности имеет вид

$$\Delta E'_{\varphi} = a \Delta E_{\varphi}, \quad (15)$$

где a – сорбционная активность, отличная от нуля.

При подстановке зависимости (15) в уравнение (11) при $U_0 = U_{m2}$ для равновесного идеального случая $\Delta E'_\varphi = 0$, имеем

$$U = U_{m2} \exp\left(-\frac{a\Delta E_\varphi}{RT}\right), \quad (16)$$

где U_{m2} – удельное максимальное сорбционное влагосодержание.

При выводе уравнения (16) было принято равновесное идеальное поле сорбционных сил сорбата. В уравнение (16) входит молярная потенциальная энергия равновесного с полем сорбционных сил сорбата и сорбционная активность (a). В уравнении (16) сорбционная активность является мерой отклонения молярной энергии распределения сорбата в поле сорбционных сил от молярной потенциальной энергии тех же молекул в идеальной системе, с которой это поле находится в состоянии равновесия. Поэтому при определенном уровне увлажнения капиллярно-пористого материала древесины, сорбционная активность (a) является физической характеристикой исследуемой неидеальной системы, то есть является мерой неидеальности энергии распределения сорбата (ΔE_φ).

В результате подстановки (13) в (16) и проводя соответствующие преобразования, получим уравнение изотермы сорбции в виде:

$$U = U_{m2}\varphi^a. \quad (17)$$

Уравнение (17) связывает удельное влагосодержание капиллярно-пористого древесного материала с относительным давлением равновесного состояния сорбата. Из уравнения (17) сорбционная активность (a) будет равна

$$a = \frac{1}{\ln \varphi} \ln \frac{U}{U_{m2}}. \quad (18)$$

Таким образом, капиллярно-пористые древесные материалы в случае равновесного состояния или при фильтрации сорбата (максимального сорбционного влагосостояния в зависимости от температуры) могут быть описаны уравнениями изотермы сорбции (16) и (17).

Сорбционная активность (a) разных сорбентов может быть различной по отношению к одному и тому же сорбату и, наоборот, сорбционная активность (a) одного и того же сорбента может быть различной по отношению к разным сорбатам.

Уравнения (16) и (17) могут быть записаны в следующем виде

$$U = U_{m2} \exp(b \cdot \Delta E_\varphi), \quad (19)$$

$$U = U_{m2} \varphi^{RTb}, \quad (20)$$

где b – емкость поля сорбционных сил

$$b = \frac{a}{RT}. \quad (21)$$

Емкость поля сорбционных сил (b) характеризует как само силовое поле на поверхности сорбента (капиллярно-пористой структуры древесного материала), так и межмолекулярные силы, действующие на молекулу сорбата в этом поле.

Как и сорбционная активность (a), емкость поля сорбционных сил (b) разных сорбентов может быть различной по отношению к одному и тому же сорбату и, наоборот, емкость поля сорбционных сил (b) одного и того же сорбента может быть различной по отношению к разным сорбатам [15].

Емкость поля сорбционных сил при заданном (φ) может быть вычислено по выражению (21), если известно соответствующее данному (φ) значение сорбционной активности (a). Согласно (18) при заданном (ΔE_φ) емкость поля сорбционных сил может быть вычислена также по опытным значениям (U) и (U_{m2}) из следующего выражения

$$b = \frac{1}{\Delta E_\varphi} \ln \frac{U}{U_{m2}}. \quad (22)$$

При использовании уравнения (13) из (22) получим уравнение, из которого можно вычислить емкость поля сорбционных сил при заданных значениях (φ) и (T)

$$b = \frac{1}{RT \ln \varphi} \ln \frac{U}{U_{m2}}. \quad (23)$$

Для того чтобы вычислить влагосодержание (U) капиллярно-пористого древесного материала при любой температуре, если задано относительное давление (φ) равновесного сорбата и соответствующее ему значение сорбционной активности (a), необходимо предварительно определить (U_{m2}) при той же температуре.

Изучение экспериментальных изотерм капиллярно-пористых материалов показывает, что при относительном (φ) значении равновесного влагосодержания, в том числе U (U_{m2}), уменьшается с увеличением температуры по линейной зависимости [15, 16]. Это позволяет получить следующее эмпирическое уравнение

$$(U)_\varphi = (U_0)_\varphi - (\alpha_T)_\varphi (T - 273), \quad (24)$$

где $(U)_\varphi$ – равновесное влагосодержание при постоянном (φ) и температуре (T); $(U_0)_\varphi$ – равновесное влагосодержание при постоянном (φ) и температуре ($T = 273$ °К); $(\alpha_T)_\varphi$ – температурный коэффициент равновесного влагосодержания при постоянном (φ).

Для максимального сорбционного влагосодержания капиллярно-пористого древесного материала уравнение (24) запишем в виде

$$U_{m2} = U_0 - \alpha_T (T - 273), \quad (25)$$

где U_0 – максимальное сорбционное влагосодержание при $T = 273$ °К; α_T – температурный коэффициент максимального сорбционного влагосодержания.

Вышеизложенное показывает, что энергетический уровень молекул сорбата («однородной» жидкости) в поле сорбционных сил капиллярно-пористых древесных материалов и, следовательно, их удельное влагосодержание определяется сорбционной активностью (или емкостью поля сорбционных сил) последних.

Поэтому одной из наиболее важных задач исследования древесных капиллярно-пористых материалов является изучение изменения сорбционной

активности (или емкостью поля сорбционных сил) в процессе фильтрации сорбата.

Таким образом изменение сорбционной активности (a) и емкости поля сорбционных сил (b) могут быть вычислены по опытным значениям (U) и ($U_{мг}$) по уравнениям (18), (22) или (23), то есть по экспериментальным изотермам сорбции. Авторами [16-21] обработано довольно большое количество экспериментальных изотерм сорбции строительных капиллярно-пористых материалов (глиняные кирпичи, цемент, шлако-и газобетон и т.д.).

Получение изотерм сорбции при экспериментальных исследованиях для капиллярно-пористых древесных материалов проводилось в эксикаторах при температуре $T = 298$ °К. Максимальное сорбционное влагосодержание ($U_{мг}$) определялось на образцах, выдержанных до влажностного равновесия сорбата при насыщающем давлении, то есть при $\varphi = 1$.

В таблице 1 приведены значения сорбционной активности (a) при различных (φ) для капиллярно-пористых древесных материалов рассчитанной по экспериментально полученным сорбционным влагосодержаниям по формуле (18).

Таблица 1. Зависимость сорбционной активности (a) капиллярно-пористых древесных материалов от насыщающего давления (φ)

№ п/п	Древесные породы	Плотность древесины, ρ , кг/м ³	Относительное давление, φ , бар				
			0.3	0.4	0.6	0.8	1.0
1	Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i>)	300	1.145	1.37	1.89	2.75	4.54
2	Осина (<i>Populus tremula</i>)	400	1.145	1.37	1.89	2.75	4.54
3	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	500	1.145	1.37	1.89	2.75	4.54
4	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	600	1.145	1.37	1.89	2.75	4.54
5	Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	700	1.145	1.37	1.89	2.75	4.54

Как следует из таблицы 1 сорбционная активность (a) капиллярно-пористых древесных материалов существенно зависит от относительного давления (φ), но не изменяется для различных пород древесины, характеризующихся разной плотностью (ρ) при конкретных значениях (φ).

Необходимо отметить что для различных пород деревьев, имеющих разные ($U_{мг}$) при одной и той же температуре, одних и тех же (φ), получены одинаковые значения сорбционной активности (a) (таблица 1). Это объясняется тем, что для капиллярно-пористых древесных материалов характерно одинаковое отношение равновесного влагосодержания (при одном и том же относительном давлении (φ)) к максимальному сорбционному влагосодержанию ($U_{мг}$).

Как показывают исследования, равновесное состояние капиллярно-пористых древесных материалов, а также фильтрация сорбата характеризуется полем сорбционных сил.

Подставив в уравнения изотермы сорбции (16), (17), (20), (21) выражение (24), получим следующие термические уравнения изотермы сорбции

$$U = [U_0 - \alpha_T(T - 273)] \exp\left(-\frac{a\Delta E_\varphi}{RT}\right), \quad (26)$$

$$U = [U_0 - \alpha_T(T - 273)]\varphi^a, \quad (27)$$

$$U = [U_0 - \alpha_T(T - 273)] \exp(-b\Delta E_\varphi), \quad (28)$$

$$U = [U_0 - \alpha_T(T - 273)]\varphi^{RTb}, \quad (29)$$

Если известны абсолютная температура (T) и относительное давление (φ), то, используя любое из уравнений (26)-(29), можно вычислить влагосодержание капиллярно-пористого древесного материала.

Количество молекул сорбата в поле сорбционных сил определяется энергией их распределения, то есть суммой потенциальной энергии молекул сорбата в данном поле сорбционных сил и ее изменения, измеряемого работой, которую необходимо совершить по равномерному распределению этих молекул в данном поле против сил взаимодействия между собой и с поверхностью сорбента (капилляров древесины). Каждому уровню влагосодержания капиллярно-пористой структуры древесного материала соответствует определенная модель поля сорбционных сил с равномерно распределенными молекулами сорбата.

Изменение влагосодержания в зависимости от изменения энергии распределения в поле сорбционных сил характеризуется уравнением изотермы сорбции.

Несмотря на широкий спектр исследований лесных насаждений и их ландшафтов, экотоны оказались заметно менее исследованными [2, 3, 21-25]. Эти переходные граничные пространства между различными природными и антропогенными системами имеют огромное распространение в природе и играют важную роль, например, в придорожных лесных насаждениях. Концепция экотонов, как пограничных переходных зон с нестабильным состоянием, характеризуемым высоким градиентом изменения природной (физической) среды, является важным аспектом описания пространства. Выделение экотонов в суббореальных ландшафтах, включая придорожные лесные насаждения, позволит установить границы таких зон.

В переходных зонах (экотонах) наблюдаются негативные процессы, связанные с деградацией почв и почвенного покрова лесных придорожных насаждений. Их термодинамические параметры, такие как уменьшение энергии Гиббса (ΔG) и энтальпии (ΔH) при одновременном увеличении энтропии (ΔS), являются важными характеристиками этих процессов. Снижение продуктивности биомассы лесных насаждений и плодородия почв также наблюдается в экотонах. Однако, этот процесс остается недостаточно

изученным, несмотря на его значительную важность для сохранения природных систем.

Следствием усиленной деградации экотонных зон является снижение способности почв к формированию структуры и к биологической активности [26-30]. Процесс почвоутомления протекает более интенсивно в данной ситуации. Наблюдается нарушение естественной структурной организации почвы по нескольким показателям, что приводит к ее отклонению от стандартов естественных лесных массивов, находящихся в термодинамическом равновесии с окружающей средой. Почва, расположенная в лесных насаждениях придорожных зон, является неравновесной полидисперсной системой, обменивающейся веществом и энергией с другими компонентами биосферы в экотонах и лесных ландшафтах. Так как значительная доля химических реакций в почвах является необратимыми термодинамическими процессами, то данное явление имеет серьезные последствия.

В соответствии с требованиями лесной растительности к внешней среде, ее развитие зависит от наличия веществ, необходимых для термодинамического обмена, а также от необходимого количества энергии. В связи с этим, важным фактором является место произрастания растений, включая лесные насаждения или экотоны, а также термодинамическое состояние данной среды. В то же время, различные виды растительного покрова имеют различные требования к солнечной энергии, влаге, и различным веществам, поступающим в растения из почвы (например, вода с растворенными минеральными веществами). При этом, различные виды растений проявляют разную реакцию на тепловой режим как воздуха, так и почвы, а также на физические свойства и состав почвы, и другие факторы.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование позволяет рассматривать массоперенос в капиллярно-пористых древесных материалах, как функцию уровня энергии распределения сорбата, а изменение при этом массы (процесс фильтрации сорбата) рассматривать в соответствии с изменением энергии, то есть в соответствии с термическими свойствами.

Исследованиями установлено также, что потенциалом массопереноса в капиллярно-пористых древесных материалах является изменение энергии распределения равновесной с ними влажности.

Таким образом, рассмотрена сущность массопереноса сорбата на основе современного представления об энергии связи с капиллярно-пористой структурой древесного материала (сорбента).

Список литературы

1. Zolotokrylin A N, Cherenkova E A, Titkova T B 2018 Bioclimatic subhumid zone of Russian plains: droughts, desertification, and land degradation *Arid Ecosystems* **8** (1) pp 7-12 DOI: 10.1134/S2079096118010122

2. Cellier F E 1991 Continuous system modeling eds F E Cellier (Springer New York) P 746
3. Korablev R A, Belokurov V P and Belokurov S V 2021 Influence of anthropogenic impact of vehicles on roadside forest plantations *IOP C. Ser. Earth Env.* **875** 012079 DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/0120792
4. Korablev R A, Belocurov V P and Busarin E N 2020 The role of energy potential in the mass transfer of moisture in the capillaries of woody plants *IOP C. Ser. Earth Env.* **595** 012057 DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012057
5. Korablev R A, Belokurov V P and Belokurov S V 2020 Theoretical studies of filtration movement of moisture in capillaries of woody plants. *IOP Conf. Ser.: Earth Env.* **595** 012058 DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012058
6. Bejan A 1999 Thermodynamic optimization of inanimate and animate flow systems. *Thermodynamic Optimization of Complex Energy Systems.* **69** 45 DOI 10.1007/978-94-011-4685 -2
7. Wesseling, P 2002 Fundamentals of computational fluid dynamics. *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics.* **24** 469 DOI: 10.1007/s00158-002-0265-4
8. Izrael Y A 1992 Ecology and control of the natural environment ed Y A Izrael (Moscow, USSR: USSR State committee for hydrometeorology and control of the natural environment) p 420 DOI: 10.1007/978-94-011-3390-6
9. Jorgensen S E and Nielsen S N 1998 Thermodynamic orientors: exergy as a goal function in ecological modeling and as an ecological indicator for the description of ecosystem development. *Eco Targets, Goal Functions, and Orientors* ed Dr. F Muller (Kiel, Germany: Springer) chapter 1 pp 63-86
10. Lukina N V, Orlova M A and Isaeva L G 2011 Forest soil fertility: the base of relationships between soil and vegetation. *Contemp Prob Ecol.* **4(7)** 725 DOI: 10.1134/S1995425511070046
11. Amr A 2020 Pattern recognition and transformational growth adjustments alongside ring roads: Descriptive mapping from four case studies. *Land Use Policy.* **94(C)** 104552 DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104552
12. Goreshev, M A, Sekisov F G and Smerdov O V 2018 Determination of the coefficient of thermal and moisture conductivity of wood by the transient moisture current method. *J. Eng. Phys. Thermophy.* **91** 827 DOI: 10.1007/s10891-018-1805-0
13. Boston K 2016 The Potential effects of forest roads on the environment and mitigating their impacts. *Curr. Forestry Rep.* **2** 215 DOI: 10.1007/s40725-016-0044-x
14. Barwise Y and Kumar P 2020 Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: a practical review for appropriate plant species selection. *npj Clim Atmos Sci.* **3(12)** 20 DOI: 10.1038/s41612-020-0115-3
15. Luikov A V 1966 Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies. Pergamon Press Ltd P 520 DOI 10.1016/C2013-0-08150-9
16. Yuksel Y E and Ozturk M 2015 Thermodynamic modeling of an integrated energy system for poly-generation design. *Prog. Clean. En.* **1** 21 DOI 10.1007/978-3-319-16709-1

17. Filonenko G K & Chuprin A I 1967 Equilibrium moisture content of foodstuffs. *Journal of Engineering Physics* **13** pp 61-64 DOI: 10.1007/BF00831754
18. Belokurov V P, Belokurov S V, Korablev R A and Shtepa A A 2018 Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1015** (3) 032132 DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032132
19. Belokurov V P, Belokurov S V, Shtepa A A, Korablev R A and Busarin E N 2020 Passive transport safety based on the calculation of the temperature regimes of brake units taking into account their heat dissipation and thermal resistance to heat dissipation. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1902** 012030 DOI: 10.1088/1742-6596/1902/1/012030
20. Garcia H G, Kondev J, Orme N, Theriot J A, Phillips R 2011 Thermodynamics of Biological Processes *Methods in Enzymology* Vol **492** pp 27-59 DOI: 10.1016/B978-0-12-381268-1.00014-8
21. Korablev R A, Belokurov V P and Busarin E N 2021 Effect mechanisms of ultrahigh-frequency radiation on biological objects Influence of anthropogenic impact of vehicles on roadside forest plantations *IOP C. Ser. Earth Env.* **875** 012017 DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012017
22. Rulev A and Yuferev V 2015 Analytical determination of the boundaries of transition natural zones (ecotones) *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Universiteta Serija 11 Estestvennye nauki 1 11* pp 69-74 DOI: 10.15688/jvolsu11.2015.1.7
23. Farber S K and Kuzmik N S 2019 Assessment and cartography of forest soil fertility *Interexpo Geo-Siberia* **3** 1 pp 268-274 DOI: 10.33764/2618-981X-2019-3-1-268-273
24. Gutman A L 2014 *Fundamentals of Forest Biogeophysics* (Voronezh, VGLTA) P 83
25. Hilmi G F 1976 *Energy and productivity of land vegetation* (USSR, Moscow, Gidrometioizdat) pp 117-187
26. Fischer H S, Michler B, Ziche D and Fischer A 2019 Plants as indicators of soil chemical properties *Ecolstud* Vol **237** pp 295-309 DOI: 10.1007/978-3-030-15734-0_10
27. Andreae M O and Dickinson R E 1995 Sustainability and the changing atmosphere: assessing changes in chemical and physical climate *Defining and measuring sustainability. The biogeophysical foundations* eds M Munasinghe and W Shearer (Distributed for the United Nations University by The World Bank, Washington, D.C) pp 117-137
28. Zhou T, Luo X, Hou Y, Xiang Y and Peng S 2020 Quantifying the effects of road width on roadside vegetation and soil conditions in forests. *Landscape Ecol.* **35** 69 DOI: 10.1007/s10980-019-00930-8
29. Abhijith K V and Kumar P 2019 Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmos Environ.* **201** 132 DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.12.036

30. Das S 2011 Introduction to Fractional Calculus for scientists and engineers. *Functional Fractional Calculus* ed S Das (Springer-Verlag Berlin Heidelberg) chapter 8 pp 213-269

References

1. Zolotokrylin A N, Cherenkova E A, Titkova T B 2018 Bioclimatic subhumid zone of Russian plains: droughts, desertification, and land degradation *Arid Ecosystems* **8** (1) pp 7-12 DOI: 10.1134/S2079096118010122
2. Cellier F E 1991 Continuous system modeling eds F E Cellier (Springer New York) P 746
3. Korablev R A, Belokurov V P and Belokurov S V 2021 Influence of anthropogenic impact of vehicles on roadside forest plantations *IOP C. Ser. Earth Env.* **875** 012079 DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/0120792
4. Korablev R A, Belokurov V P and Busarin E N 2020 The role of energy potential in the mass transfer of moisture in the capillaries of woody plants *IOP C. Ser. Earth Env.* **595** 012057 DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012057
5. Korablev R A, Belokurov V P and Belokurov S V 2020 Theoretical studies of filtration movement of moisture in capillaries of woody plants. *IOP Conf. Ser.: Earth Env.* **595** 012058 DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012058
6. Bejan A 1999 Thermodynamic optimization of inanimate and animate flow systems. *Thermodynamic Optimization of Complex Energy Systems.* **69** 45 DOI 10.1007/978-94-011-4685-2
7. Wesseling, P 2002 Fundamentals of computational fluid dynamics. *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics.* **24** 469 DOI: 10.1007/s00158-002-0265-4
8. Izrael Y A 1992 Ecology and control of the natural environment ed Y A Izrael (Moscow, USSR: USSR State committee for hydrometeorology and control of the natural environment) p 420 DOI: 10.1007/978-94-011-3390-6
9. Jorgensen S E and Nielsen S N 1998 Thermodynamic orientors: exergy as a goal function in ecological modeling and as an ecological indicator for the description of ecosystem development. *Eco Targets, Goal Functions, and Orientors* ed Dr. F Muller (Kiel, Germany: Springer) chapter 1 pp 63-86
10. Lukina N V, Orlova M A and Isaeva L G 2011 Forest soil fertility: the base of relationships between soil and vegetation. *Contemp Prob Ecol.* **4**(7) 725 DOI: 10.1134/S1995425511070046
11. Amr A 2020 Pattern recognition and transformational growth adjustments alongside ring roads: Descriptive mapping from four case studies. *Land Use Policy.* **94**(C) 104552 DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104552
12. Goreshev, M A, Sekisov F G and Smerdov O V 2018 Determination of the coefficient of thermal and moisture conductivity of wood by the transient moisture current method. *J. Eng. Phys. Thermophy.* **91** 827 DOI: 10.1007/s10891-018-1805-0

13. Boston K 2016 The Potential effects of forest roads on the environment and mitigating their impacts. *Curr. Forestry Rep.* **2** 215 DOI: 10.1007/s40725-016-0044-x
14. Barwise Y and Kumar P 2020 Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: a practical review for appropriate plant species selection. *npj Clim Atmos Sci.* **3**(12) 20 DOI: 10.1038/s41612-020-0115-3
15. Luikov A V 1966 Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies. Pergamon Press Ltd P 520 DOI 10.1016/C2013-0-08150-9
16. Yuksel Y E and Ozturk M 2015 Thermodynamic modeling of an integrated energy system for poly-generation design. *Prog. Clean. En.* **1** 21 DOI 10.1007/978-3-319-16709-1
17. Filonenko G K & Chuprin A I 1967 Equilibrium moisture content of foodstuffs. *Journal of Engineering Physics* **13** pp 61-64 DOI: 10.1007/BF00831754
18. Belokurov V P, Belokurov S V, Korablev R A and Shtepa A A 2018 Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1015** (3) 032132 DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032132
19. Belokurov V P, Belokurov S V, Shtepa A A, Korablev R A and Busarin E N 2020 Passive transport safety based on the calculation of the temperature regimes of brake units taking into account their heat dissipation and thermal resistance to heat dissipation. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1902** 012030 DOI: 10.1088/1742-6596/1902/1/012030
20. Garcia H G, Kondev J, Orme N, Theriot J A, Phillips R 2011 Thermodynamics of Biological Processes *Methods in Enzymology* Vol **492** pp 27-59 DOI: 10.1016/B978-0-12-381268-1.00014-8
21. Korablev R A, Belokurov V P and Busarin E N 2021 Effect mechanisms of ultrahigh-frequency radiation on biological objects Influence of anthropogenic impact of vehicles on roadside forest plantations *IOP C. Ser. Earth Env.* **875** 012017 DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012017
22. Rulev A and Yuferev V 2015 Analytical determination of the boundaries of transition natural zones (ecotones) *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Universiteta Seriya 11 Estestvennye nauki 1 11* pp 69-74 DOI: 10.15688/jvolsu11.2015.1.7
23. Farber S K and Kuzmik N S 2019 Assessment and cartography of forest soil fertility *Interexpo Geo-Siberia* **3** 1 pp 268-274 DOI: 10.33764/2618-981X-2019-3-1-268-273
24. Gutman A L 2014 *Fundamentals of Forest Biogeophysics* (Voronezh, VGLTA) P 83
25. Hilmi G F 1976 *Energy and productivity of land vegetation* (USSR, Moscow, Gidrometioizdat) pp 117-187
26. Fischer H S, Michler B, Ziche D and Fischer A 2019 Plants as indicators of soil chemical properties *Ecolstud* Vol **237** pp 295-309 DOI: 10.1007/978-3-030-15734-0_10
27. Andreae M O and Dickinson R E 1995 Sustainability and the changing atmosphere: assessing changes in chemical and physical climate *Defining and*

- measuring sustainability. The biogeophysical foundations* eds M Munasinghe and W Shearer (Distributed for the United Nations University by The World Bank, Washington, D.C) pp 117-137
28. Zhou T, Luo X, Hou Y, Xiang Y and Peng S 2020 Quantifying the effects of road width on roadside vegetation and soil conditions in forests. *Landscape Ecol.* **35** 69 DOI: 10.1007/s10980-019-00930-8
29. Abhijith K V and Kumar P 2019 Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmos Environ.* **201** 132 DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.12.036
30. Das S 2011 Introduction to Fractional Calculus for scientists and engineers. *Functional Fractional Calculus* ed S Das (Springer-Verlag Berlin Heidelberg) chapter 8 pp 213-269.

Современные методы улучшения качественных показателей продукции при производстве плитных материалов на примере фанеры

Аннотация. В работе проведен анализ возможных способов повышения показателей физико-механических свойств плитных материалов на примере фанеры. Рассмотрены методы рационального использования сырья в производстве изделий из древесины. Представлены варианты использования фанеры в различных отраслях народного хозяйства.

Ключевые слова: смола, плитные материалы, фанера, модификация, прессование, береза, осина, производство, физико-механические свойства

Yushchenko E.V.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh*

Modern methods of improving the quality indicators of products in the production of slab materials on the example of plywood

Abstract. The paper analyzes possible ways to improve the physical and mechanical properties of slab materials on the example of plywood. The methods of rational use of raw materials in the production of wood products are considered. The options for using plywood in various sectors of the national economy are presented.

Keywords: resin, slab materials, plywood, modification, pressing, birch, aspen, production, physical and mechanical properties

1. Введение

Согласно тенденциям производственных процессов, современная промышленность все более стремится к повышению показателей качества выпускаемой продукции, одновременно сохраняя ее экологичность и экономическую конкурентоспособность на международном рынке, а также рентабельность производства. Данная направленность является приоритетной во многих видах деятельности, в том числе, является актуальной и для деревообработки. Следствием является возрастающее количество исследовательских работ, направленных на улучшение физико-механических свойств древесины и материалов из нее.

Для деревообрабатывающей промышленности остро стоит вопрос рационального использования биоресурсов, ввиду их значительного истощения и длительного цикла роста лесонасаждений, т.е. возобновляемости биоресурсов. Здесь становится явной необходимость использования быстрорастущих пород древесины. Так как площадь произрастания последних находится на максимальном уровне по стране, этот фактор обеспечит быстрый темп возобновляемости и относительно невысокую стоимость сырьевого ресурса, что значительно в последствии влияет на экологичность и экономическую составляющую продукции.

Среди пород древесины, произрастающих на территории нашего государства, к быстрорастущим относят осину и березу [6]. Однако, данным породам древесины свойственны довольно низкие декоративные и эксплуатационные показатели. Ввиду этого возникает необходимость улучшения указанных характеристик, что даст возможность применять материал для производства продукции высокого качества с физико-механическими показателями идентичными ценным древесным породам, которые отличаются дороговизной и значительно меньшим количеством запасов.

На ряду с этим повышению качества готовой продукции способствует создание и реализация в технологическом процессе современных производственных методик [1, 9, 7].

2. Материалы и методы

Как альтернатива натуральной древесине, среди материалов наибольшее применение в настоящее время получили полимерные композиты, оптимально сочетающие в себе превосходные физические и механические характеристики, а также относительно невысокую стоимость, что позволяет им занимать выгодную конкурентную позицию относительно привычных классических материалов. Одним из таких материалов является фанера.

Концепция современной экономики остро ставит вопрос повышения технологичности процессов получения материалов из древесины, в том числе, и фанеры.

Благодаря своим свойствам материал нашел широкое применение во многих сферах народного хозяйства: строительство жилых, складских и подсобных помещений, авиа- вагоно- и судостроительство, мебельная промышленность, производство спортивного инвентаря и т.д. [8].

В России производство фанеры регламентируется нормативными актами – ГОСТами. Классификация продукции осуществляется по сортам и маркам в зависимости от типа связующего и качества наружных слоев шпона. Различают фанеру также по составу сырья, типу лицевой поверхности, назначению и экологической безопасности.

Существуют способы улучшения качества фанеры и повышения ее экономических и физико-механических показателей. Рассмотрим некоторые из них.

Так как связующее является важнейшим фактором, оказывающим влияние на качество получаемой продукции при производстве фанеры, то

одним из способов улучшения механических и физических свойств плитных материалов является использование в технологии производства модифицированных связующих или отвердителей.

Термическая и химическая устойчивость, механическая прочность, высокий уровень адгезии к большинству материалов, водостойкость – главные достоинства синтетических смол, благодаря которым они нашли широкое применение при производстве плитных материалов. Однако, в чистом виде такие смолы используются довольно редко, чаще они являются основой композиций, в составе которых также входят и добавки, например, наполнители, загустители, разбавители, отвердители и т.д. [3]. Использование модификаторов позволяет получить фанеру с требуемыми заданными показателями прочности, экологичности, огне-водо-биостойкости.

В качестве модифицирующих добавок используют наполнители природного происхождения: нанокристаллическую целлюлозу, доломитовую муку, мел [10, 5]. Известно применение модификаторов в жидком виде, таких как: водный раствор шестиводного хлорида алюминия, безводный хлорид магния и др.

Еще один способ улучшения качества фанеры - обработка шпона. Применение данной операции в технологическом процессе производства фанеры может существенно увеличить ее эксплуатационные характеристики и, как следствие, расширить сферы ее возможной эксплуатации. Например, результаты работ по озонированию термообработанного шпона показали, что полученный шпон обладает более высоким показателем влагостойкости по сравнению с необработанным шпоном из натуральной древесины. Это дает возможность получать слоистые композитные материалы с повышенными эксплуатационными характеристиками. Еще одним преимуществом данной технологии является уменьшение расхода клея [4].

Стоит отметить и комбинированную фанеру. Использование различных технологий формирования пакетов при производстве фанеры позволяет повысить качество получаемого продукта, а также увеличить эффективность производства. Это достигается за счет использования лущеного шпона осины для внутренних слоев фанеры в сочетании со шпоном сосны для наружных слоев, и, как следствие, приводит к экономии энерго- и материальных затрат [2].

Заключение

Фанера является одним из наиболее популярных и востребованных материалов на современном рынке в различных сферах применения. Существует множество способов получения фанеры с требуемыми качествами, необходимым уровнем показателей физико-механических свойств. Одними из приемов для достижения заявленных критериев продукции являются: использование модифицированных связующих или отвердителей, применение предварительной обработки шпона, осуществление различных технологий формирования пакета и т.д.

Список литературы

1. Ветошкин, Ю.И. Улучшение физико-механических свойств лиственной древесины облагораживанием / Ю.И. Ветошкин, Д.В. Шейкман // Леса России и хозяйство в них. — 2013. - № 3(46). — С. 55-62.
2. Плотников, Н. П. Исследование качественных показателей комбинированной фанеры / Н. П. Плотников, И. Н. Челышева // Актуальные проблемы лесного комплекса. — 2022. — № 61. — С. 209-213. — EDN PVWGVU.
3. Потапова, А. А. Влияние наполнителей на свойства КПП на основе фенол-формальдегидных смол / А. А. Потапова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 7120-7124. – EDN BVGFHQ.
4. Сафиуллина А.Х. Технология предварительной обработки древесного наполнителя озоном в производстве композиционных материалов / А.Х. Сафиуллина, Р.Р. Сафин, Ш.Р. Мухаметзянов // Актуальные проблемы лесного комплекса – 2020.
5. Соколова, Е. Г. Анализ применения доломитовой муки в производстве фанеры повышенной водостойкости / Е. Г. Соколова // Системы. Методы. Технологии. – 2019. – № 4(44). – С. 90-94. – DOI 10.18324/2077-5415-2019-4-90-94. – EDN MYELDN.
6. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. — М. : Лесная промышленность, 2001. — 359 с.
7. Фомина, О.А. Способы модифицирования древесины лиственных пород: отечественный и зарубежный опыт / О.А. Фомина // Дневник науки. — 2017. - № 9 (9). — С. 4-12.
8. Чуркина, А. В. Анализ использования фанеры как сырья / А. В. Чуркина // Форум молодых ученых. – 2019. – № 2(30). – С. 1645-1648. – EDN FPFTWH.
9. Шамаев, В.А. Стабилизация форм и размеров прессованной древесины химическими методами / В.А. Шамаев, В.В. Златоустовская, А.С. Копытин // Лесной журнал. — 2010. - № 2. — С. 115-121.
10. Шамаев В.А. Исследование склеивания фанеры с применением нанокристаллической целлюлозы / В.А. Шамаев, Е.М. Разиньков, Т.Л. Ищенко и др. // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 1. – С. 151–155

References

1. Vetoshkin, Yu.I. Improvement of physical and mechanical properties of deciduous wood by ennobling / Yu.I. Vetoshkin, D.V. Sheikman // Forests of Russia and agriculture in them. — 2013. - № 3(46). — Pp. 55-62.
2. Plotnikov, N. P. Research of qualitative indicators of combined plywood / N. P. Plotnikov, I. N. Chelysheva // Actual problems of the forest complex. – 2022. – No. 61. – pp. 209-213. – EDN PVWGVU.

3. Potapova, A. A. Influence of fillers on the properties of CPM based on phenol-formaldehyde resins / A. A. Potapova // International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Belgorod, May 25-27, 2020. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2020. – pp. 7120-7124. – EDN BVGFHQ.
4. Safiullina A.H. Technology of pretreatment of wood filler with ozone in the production of composite materials / A.H. Safiullina, R.R. Safin, S.R. Mukhametzyanov // Actual problems of the forest complex – 2020.
5. Sokolova, E. G. Analysis of the use of dolomite flour in the production of plywood with increased water resistance / E. G. Sokolova // The system. Methods. Technologies. – 2019. – № 4(44). – Pp. 90-94. – DOI 10.18324/2077-5415-2019-4-90-94. – EDN MYELDN.
6. Ugolev, B.N. Wood science with the basics of forest commodity science / B.N. Ugolev. — M. : Forest industry, 2001. — 359 p.
7. Fomina, O.A. Methods of modifying hardwood: domestic and foreign experience / O.A. Fomina // Diary of Science. — 2017. - № 9 (9). — P. 4-12.
8. Churkina, A.V. Analysis of the use of plywood as raw materials / A.V. Churkina // Forum of Young Scientists. – 2019. – № 2(30). – Pp. 1645-1648. – EDN FPFTWH.
9. Shamaev, V.A. Stabilization of shapes and sizes of pressed wood chemical methods / V.A. Shamaev, V.V. Zlatoustovskaya, A.S. Kopytin // Lesnoy zhurnal. — 2010. - No. 2. — pp. 115-121.
10. Shamaev V.A. Investigation of plywood bonding using nanocrystalline cellulose / V.A. Shamaev, E.M. Razinkov, T.L. Ishchenko, etc. // Forestry Journal. – 2014. – No. 1. – pp. 151-155

DOI: 10.58168/Forestry2023_623-630

УДК 630*338

Бутко Г.П.¹, Безрукова Т.Л.², Синегубова Е.С.³

¹Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург

²Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж

³Уральский государственный лесотехнический университет,
г. Екатеринбург

Новые инновационные технологии в лесопромышленном комплексе

Аннотация. В представленной работе освещены основные задачи, связанные с инновациями и определены приоритетные направления, решение которых разрешит путь устойчивого определения конкурентных позиций на основе инновационного участия и ускорения цифровизации в лесном комплексе. Такие пути позволяют предложить дополнительные рабочие места, значительно ускорить подъем в отрасли и выявить экономические стимулы. В результате появляется возможность роста отдачи и качества предоставляемых услуг в лесопользовании. В исследовании определены особенности возможного повышения конкурентоспособности предприятий лесопромышленного комплекса на основе роста инновационного масштаба, совершенствования цифровой инфраструктуры и внедрение новых приоритетов во всех ключевых сферах ЛПК в цифровой экономике. Выявлены проблемы в сфере устойчивого развития лесного комплекса и определены основные видовые инновации в зависимости от конкуренции. Отмечена важная роль HRM-системы с точки зрения полноты функционала и опыта внедрений в отрасли, так как они находят свое практическое применение в обеспечении устойчивого развития лесопромышленной отрасли на основе цифровых моделей. В статье рассмотрено текущее состояние и будущее цифровых технологий, используемых предприятиями лесной промышленности, проанализировали уровень внедрения цифровых технологий и их влияние на лесную промышленность, ее устойчивое развитие в глобальной перспективе.

Ключевые слова: конкурентоспособность, инновации, цифровые технологии, эффективность.

Butko G.P.¹, Bezrukova T. L.², Sinegubova E.S.³

¹Ural State University of Economics, Ekaterinburg,

*²Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G. F. Morozov, Voronezh*

³Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg,

New innovative technologies in the timber industry complex

Abstract. The presented work solves the main problems associated with innovation and minimum priority areas, the solution of which allows us to determine the way to determine competitive positions based on innovative participation and accelerating digitalization in the forestry complex. Such paths can create more jobs, significantly accelerate growth in the industry and create special incentives. As a result, there are opportunities to increase productivity and the quality of services provided in forest management. As a result of a possible increase in the competitiveness of forestry enterprises based on the growth of innovative scale, with the advent of digital implementation and the introduction of new priorities in all classes of timber industry in the digital economy. Problems in the development of the forestry complex and limitations of the main types of innovation depending on competition have been identified. The important role of the HRM system is noted from the point of view of considering the completeness of functionality and implementation experience in the industry, as they find their practical application in ensuring the development of the forestry industry based on digital models. The article, taking into account the current state and digital technologies of the future associated with forest industry enterprises, analyzes the level of digital technologies and their impact on the forest industry and its sustainable development in the long term.

Key words: competitiveness, innovation, digital technologies, efficiency

1. Введение

В условиях нестабильной экономики необходимым является изучение перспективных направлений повышения конкурентоспособности на основе роста инновационного масштаба, совершенствования цифровой инфраструктуры и внедрение новых приоритетов во всех сферах лесопромышленного комплекса в цифровой экономике. Объектом конкуренции выступают объекты лесного комплекса в условиях возрастающей ограниченности ресурсов, прежде всего: природные, этнические, материальные, финансовые, трудовые, экологические и различные полезности леса, которые производятся для внешнего и внутреннего рынка, а также в условиях СВО в Украине. Это касается экономической поддержки родственных территорий.

В ходе решения проблемы ставится вопрос обеспечения профессиональным человеческим капиталом из других регионов и за счет

миграционного притока трудоспособного населения. В этих перспективах важно определить вектор будущего развития отрасли на основе применения инновационных технологий и процессов.

Важное значение представляют HRM-системы с точки зрения полноты функционала и опыта внедрений в отрасли, так как они находят свое практическое применение в обеспечении устойчивого развития лесопромышленной отрасли на основе цифровых моделей.

Так на основе авторской точки зрения и роли исследования специалистов, предлагается дополнить оценочные показатели инновационной активности критерием как рост экономической ценности хозяйствующего субъекта.

2

Сегодня отмечаются направления стагнации даже при критериях нестабильного рынка наблюдается не полное соблюдение интересов как на уровне конкретного региона, так и на макроэкономическом уровне. Безусловно, что и в масштабе одного региона проявляются противоречия по темпам развития территории с присущей той или иной отрасли.

Так, законодательство на местном уровне может содержать противоречия законодательству на уровне Федерации.

Особое значение приобретает основной критерий эффективности как конкурентоспособность.

Рассматривая идеальную ЛЭ и реальную модель ЛУ в отдельных территориальных единицах, акцентируем внимание на его монопольном положении.

3. Цель исследования.

В работе целью работы является проведение среза существующих понятий повышение конкурентоспособности на основе инновационного развития. В качестве объекта исследования выступает реальная ЛУ и идеальная модель ЛЭ как основа устойчивого конкурентоспособного и инновационного развития лесопромышленного комплекса.

4. Анализ предыдущих исследований и публикаций.

При такой постановке вопроса необходимо обозначить необходимость детализации проверки эффективности ведущих инновационных решений. Для оценки наиболее перспективных путей развития важно обосновать значимость инновационных решений. Для этого проекта проводится финансово-экономический анализ поэтапно:

1. Масштаб оценки финансовой стабильности.

2. Экспресс-анализ финансовой устойчивости.

Для более точного ответа на поставленные задачи точное решение возможно получить поэтапно.

Оценка финансовой стабильности базируется на аналитических расчетах с последующим формированием финансовой устойчивости.

Не менее важный этап – детализация экспресс-анализа финансовой устойчивости, которая выполняется в форме обзора исходных данных. С одной стороны, он необходим для выявления краткосрочного перспективного

развития. С другой стороны, позволяет учесть взвешенный подход и взаимосвязанную оценку различных факторов.

Ведущие авторы в данной области отмечают ключевую роль инноваций в отраслевом развитии [1-15].

В конечном итоге эти работы позволяют объединить систему оценочных показателей и представить интегральную программу развития лесного сектора в рамках только реальной модели (ЛУ), но и идеальной модели (ЛЭ) на будущее.

На наш взгляд, формирование идеальной модели возможно в результате наращивания и инновационной деятельности и роста конкуренции отечественных предприятий. В целом это касается и государственной политики в данной области. Отмечая экономическую ситуацию в рамках инновационной деятельности, отметим, что ЛЭ возможна для отдельных подотраслей лесного сектора, например в области использования отходов. Наиболее яркий пример в части пеллет. Однако только «отдельные предприятия применяют свои инновационные возможности для роста конкурентоспособности.

В настоящее время понятие «инновация» трактуется неоднозначно в разных контекстах, и его расшифровка зависит от конкретных целей. Как правило, первоначально оперировали термином новации, в ряде случаев как конечный результат инновационной деятельности в отечественной практике. Что же касается зарубежных формулировок, то можно встретить расшифровку «инновация «– это деятельность, процесс изменений» [15].

Рассматривая более широко проблему, для ЛПК следует выделить инновации модификационного типа. И в первую очередь в такой отрасли как лесопиление. И в этом контуре подлежат исследованию параметры цифровой экономики [9-10].

Стратегия развития лесного сектора предусматривает обеспечение инновационного решения в рамках циркулярных изменений. Конечный результат деятельности предлагаемого подхода состоит, как правило, не из одной, а ряда функций, и возможен с интегральной последовательной оценкой развития и существования отрасли с ее подструктурами как бизнес-функции и даже эффективной модели.

На национальном уровне большое значение придается инновационной деятельности (ИД). Ситуация экономики как макро, так и микроэкономики сегодня - основной фактор, показывающий связь ИД и уровень конкурентных преимуществ.

Также важно знать под каким инновационным влиянием протекает обновление технического уровня предприятий, совершенствуется производство заменителей деловой древесины, появляются наиболее эргономичные и биологически чистые лесные товары.

Конкурентоспособность как категория сегодня важна; продукция и услуги зависят от скорости, с которой отрасль внедряет ключевые научно-технические предложения, совершенствует научные разработки, осваивает новые процессы. Использование новых технологий в деятельности является

одним из источников повышения ее конкурентоспособности и экономического роста в целях завоевания внутреннего и внешнего рынка.

«Поскольку цифровые технологии в настоящее время не прогрессируют в лесопромышленной отрасли, поэтому их влияние варьируется в зависимости от различных факторов: цели и задач их использования, стоимости внедрения и эффективности по разным направлениям деятельности, барьеров при их применении, достоинств или недостатков той или иной цифровой технологии» [15].

«Оценка влияния цифровых технологий на качественные изменения в лесопромышленной отрасли, где особенное внимание уделяется введению основных понятий, а также на выявление и определение важных направлений основных процессов предприятий, является важнейшей задачей внедрения цифровых технологий» [15].

Особо отметим видовые инновации, классифицированные в зависимости от конкуренции:

1. Обычные инновации, получаемые при ведении процесса совершенствования существующей продукции или технологий. Данные инновации обеспечивают устойчивое развитие предприятия, влияют на рост конкурентоспособности и повышают рейтинг предприятия на рынке.

2. Совершенные инновации, направленные на появление новых научно-технических процессов, новой услуги, продукта, что приводит к совершенствованию реально ноу-хау, нового масштаба. Практически можно вести речь о важности социально-экономической системы к эксплуатации инноваций, на основе глубоких исследований. На этом пути появляются проблемы в плане организации и усиливается значение уровня управления в организации. [11].

Конечный результат, выступающий как рост конкурентоспособности, проявляется на основе организационных инноваций, развитию новых моделей рынка лесопродукции и инновационных кластеров [14,15,16], так как именно на их основе совершенствуется структура управления. Не менее значимым являются и вновь создаваемые ценности, а также и векторы перспективного развития. В последствии возможны наиболее перспективные стандарты. На основе такой стратегии наблюдается повышенный интерес и востребованность к притоку высокопрофессиональных специалистов в отрасль.

4. Выводы

Для обоснования и дальнейшего формирования принятия управленческих решений, необходимо исследовать приоритеты перспективных стратегий в инновационном управлении ими. Значимо, акцентировать внимание на типичной зависимости функций инновационного управления от современных цифровых моделей и практической отдачи от них. Важным выступает и проблема обоснования программы стратегического развития подотраслей лесного сектора. «Анализ цифровых технологий, применяемых на предприятиях лесопромышленной отрасли, показывает, что следует ожидать высокого влияния цифровых технологий на устойчивое

развитие, особенно в области повышения безопасности (социальная составляющая), повышения экономической эффективности (экономическая составляющая) и сокращение использования ресурсов, включая использование материалов. Следовательно, следует ожидать воздействия на все составляющие устойчивости, хотя и в разной степени. Эти результаты показывают, что уровень внедрения цифровых технологий, которые были определены, в отношении общей трансформации в лесной промышленности, все еще находится на ранних стадиях» [15].

Список литературы

1. Управление исследованиями и разработками в российских компаниях: Национальный доклад. – Москва.: Ассоциация Менеджеров, 2011. – 80 с.
2. Аброскин, А. Экономическое развитие в цифровую эпоху / А. Аброскин, Ю. Зайцев, Г. Идрисов и др. – Москва.: Издат. дом «Дело» РАНХиГС, 2019. – 88 с.
3. Бутко, Г.П. Ресурсы инноваций. Екатеринбург, 2021. - 135 с.
4. Бутко, Г. Повышение конкурентоспособности как фактор обеспечения экономической безопасности. Монография. / Г. Бутко, Л. Перепелкина, О. Шурмина. Екатеринбург, 2021. - 142 с.
5. Железнов, М.М. Комплексный анализ инновационной деятельности зарубежных компаний // Мир транспорта 2022. № 12. С. 158-170.
6. Железнов, М.М. Испытательный полигон геотехнологий. // Мир транспорта 2012. № 1. С.118-121.
7. Журавлева, Н. А. Концептуальные основы оценки эффектов от развития проектов высокоскоростных транспортных систем на основе магнитной левитации / Н. А. Журавлева // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 89–102.
8. BCG The Internet economy in the G-20. – Boston : Boston Consulting group. – NW, 2017. – 57 p. – URL : <https://www.bcg.com> (дата обращения : 30.03.2023).
9. Гохберг, Л. Индикаторы цифровой экономики: 2019: стат. сб. / Г. Абдрахманова, К. Вишневский, Л. Гохберг и др.; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – Москва.: НИУ ВШЭ, 2019. – 248с.
10. Терешина, Н. Инновации и конкурентоспособность/ Н. Терешина, В. Подсорин // Мир транспорта. 2012. Т. 10. № 4 (42). С. 82-89.
11. Чурсин, А. Влияние инноваций на механизмы управления конкурентоспособностью / А. Чурсин, В. Соловьев. // Инновации. 2013. № 3 (173). С. 54-60.
12. Бутко Г.П. Инвестиции. Монография. Ек. УГЛТУ. 2013.-158 с.
13. Бутко Г.П. Инновации развития: модели рынка. // Вестник Московского государственного университета – Вестник науки. 2018. № 2 (94). С. 130-134.

14. Резанов К.В. Методологический подход к обеспечению устойчивого развития кластерной модели комплекса региона. // Управление экономическими системами: эл. научн. журнал. 2016. № 4 (86). С.2-9.

15. Кретинин А.А. Визуализация цифровых технологий как основа трансформации лесопромышленной отрасли / А.А. Кретинин, Т.Л. Безрукова // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2022, № 8 . – С. 62-69.

16. Бухтиярова Т.И., Михайлюк О.Н., Батурина И.Н. Повышение эффективности инновационно-инвестиционной деятельности агропромышленных экосистем (по материалам Курганской области) // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2023. Т. 3. № 1. С. 71-80.

17. Санду И.С., Рыженкова Н.Е. Инновационно-инвестиционная привлекательность как приоритетное направление развития АПК в современных условиях // Прикладные экономические исследования. 2016. № S3. С. 10-19.

18. Сараджева О.В. Совершенствование механизма инновационного развития региона // Образование. Наука. Научные кадры. 2011. № 4. С. 148-149.

19. Матвеева, Т. В. Повышение конкурентоспособности промышленных предприятий на основе развития инновационной деятельности : учеб. пособие / Т.В. Матвеева, В.В. Криворотов, Н.В. Машкова, П.П. Корсунов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 152 с.

20. Tsarev A P 2005 The main directions and results of willow breeding in Russia Proceedings of the forest engineering faculty of Petrozavodsk State University [= Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta] 5 pp 123-131 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22796044>

References

1. Research and development management in Russian companies: National report. – Moscow: Association of Managers, 2011. – 80 p.

2. Abroskin, A. Economic development in the digital era / A. Abroskin, Yu. Zaitsev, G. Idrisov, etc. - Moscow: Publishing house. house “Delo” RANEPА, 2019. – 88 p.

3. Butko, G.P. Innovation resources. Ekaterinburg, 2021. - 135 p.

4. Butko, G. Increasing competitiveness as a factor in ensuring economic security. Monograph. / G. Butko, L. Perepelkina, O. Shurmina. Ekaterinburg, 2021. - 142 p.

5. Zheleznov, M.M. Comprehensive analysis of the innovative activities of foreign companies // World of Transport 2022. No. 12. P. 158-170.

6. Zheleznov, M.M Test site for geotechnologies. // World of Transport 2012. No. 1. P.118-121.

7. Zhuravleva, N. A. Conceptual basis for assessing the effects of the development of projects of high-speed transport systems based on magnetic levitation / N. A. Zhuravleva // *Transport systems and technologies*. – 2019. – T. 5, No. 1. – P. 89–102.
8. BCG The Internet economy in the G-20. – Boston: Boston Consulting group. – NW, 2017. – 57 rub. – URL: <https://www.bcg.com> (access date: 03/30/2023).
9. Gokhberg, L. Indicators of the digital economy: 2019: stat. Sat. / G. Abdrakhmanova, K. Vishnevsky, L. Gokhberg and others; National Research University Higher School of Economics. – Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2019. – 248 p.
10. Tereshina, N. Innovation and competitiveness / N. Tereshina, V. Podsorin // *World of Transport*. 2012. T. 10. No. 4 (42). pp. 82-89.
11. Chursin, A. The influence of innovation on the mechanisms of competitiveness management / A. Chursin, V. Solovyov. // *Innovation*. 2013. No. 3 (173). pp. 54-60.
12. Butko G.P. Investments. Monograph. Ek. UGFTU. 2013.-158 p.
13. Butko G.P. Development innovations: market models. // *Bulletin of Moscow State University - Bulletin of Science*. 2018. No. 2 (94). pp. 130-134
14. Rezanov K.V. Methodological approach to ensuring sustainable development of the cluster model of the region's complex. // *Management of economic systems: email. scientific magazine*. 2016. No. 4 (86). P.2-9.
15. Kretinin A.A. Visualization of digital technologies as the basis for transformation of the timber industry / A.A. Kretinin, T.L. Bezrukova // *FES: Finance. Economy. Strategy*. 2022, no. 8. – P. 62-69.
16. Bukhtiyarova T.I., Mikhailyuk O.N., Baturina I.N. Increasing the efficiency of innovation and investment activities of agro-industrial ecosystems (based on materials from the Kurgan region)//*Corporate governance and innovative development of the economy of the North: Bulletin of the Research Center for Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktyvkar State University*. 2023. T. 3. No. 1. P. 71-80.
17. Sandu I.S., Ryzhenkova N.E. Innovation and investment attractiveness as a priority direction for the development of the agro-industrial complex in modern conditions // *Applied economic research*. 2016. No. S3. pp. 10-19.
18. Saradzheva O.V. Improving the mechanism of innovative development of the region // *Education. The science. Scientific personnel*. 2011. No. 4. P. 148-149.
19. Matveeva, T. V. Increasing the competitiveness of industrial enterprisestions based on the development of innovative activities: textbook. By-Sobie / T.V. Matveeva, V.V. Krivorotov, N.V. Mashkova, P.P. Corsunov. — Ekaterinburg: Ural Publishing House. University, 2018. - 152 p.
20. Tsarev A P 2005 The main directions and results of willow breeding in Russia Proceedings of the forest engineering faculty of Petrozavodsk State University [= Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta]. 5, pp 123-131. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22796044>

**Ягодкин А.С., Ачкасов А.В., Скворцова Т.В.,
Симоненко А.А., Нестеров И.О.**

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Система мониторинга и оповещения о проникновении на территорию биосферного заповедника

Аннотация. Сохранение нашей природы одна из важных тем современного общества. Биосферные заповедники – это наследие нашей природы, которое мы должны охранять. С помощью современных технологий можно создать систему охраны для биосферных заповедников. Такая система охраны будет основываться на Интернете-вещей (IoT) и будет способна помочь службе охране заповедника с патрулированием территорий. Система охраны будет создана на основе микроконтроллера STM32F103C8T6 с использованием различных датчиков движения, дыма и фотоловушек

Ключевые слова: биосферный заповедник, интернет-вещей, IoT, датчик движения, датчик дыма, фотоловушки.

**Jagodkin A.S., Achkasov A.V., Skvortsova T.V.,
Simonenko A.A., Nesterov I.O.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Monitoring and warning system for intrusion into the territory of the biosphere reserve

Abstract. Preserving our nature is one of the important topics of modern society. Biosphere reserves are a heritage of our nature that we must protect. With the help of modern technologies, it is possible to create a protection system for biosphere reserves. Such a security system will be based on the Internet of Things (IoT) and will be able to help the reserve security service with patrolling the territories. The security system will be created based on the STM32F103C8T6 microcontroller using various motion sensors, smoke sensors and camera traps.

Key words: biosphere reserve, Internet of things, IoT, motion sensor, smoke sensor, camera traps.

Введение

Одной из важных тем на сегодняшний день является охрана нашей природы. Для защиты нашей природы, вполне возможно применять современные технологии, чтобы предотвратить ухудшение экологии.

Особое место в нашей природе занимают биосферные заповедники. Биосферный заповедник – это особо охраняемая природная территория, создаваемая с целью сохранения природных экосистем и генофонда данного региона, изучения и мониторинга природной среды в нём и на примыкающих к нему территориях.

За биосферными заповедниками нужен постоянный контроль и наблюдение, так как люди умышленно или неумышленно могут попасть на его территорию.

В этой статье предлагается рассмотреть разработку системы мониторинга и оповещения о проникновении на территорию биосферного заповедника.

2. Основная проблема

Основные источники проблемы – люди. Чаще всего человек осознано нарушает границу биосферного заповедника с целью: браконьерства, транзит коротким путем через заповедник, отдых на природе.

Ещё одной проблемой являются человеческие факторы. В охране биосферного заповедника также работают люди, и они тоже люди. Охрана, которая в данный момент охраняет заповедник, может быть уставшей, невнимательной. Также стоит сказать, что не каждый человек сможет разглядеть в глуши леса человека в камуфляже.

Пожары – одна из важнейших проблем биосферных заповедников. Из-за пожаров большинство территорий заповедника погибают, а вместе с ними животные и растения.

Для решения данной проблемы требуется создать устройство, которое сможет обнаруживать нарушителей и передавать информацию в комнаты охраны. Устройство должно включать в себя современные микроконтроллеры, датчики движения, датчики дыма, фотоловушки с нейросетями, для распознавания человека.

3. ИЗУЧЕНИЕ ДАННОГО ВОПРОСА

В качестве примера была изучена деятельность охраны Воронежского государственного природного биосферного заповедника.

За отчетный период с 01.01.2019 по 30.12.2019 отделом охраны выполнен следующий ряд мероприятий, направленных на предотвращения нарушений природоохранного законодательства, усиление охраны территории заповедника, его охранной зоны, подконтрольных территорий, обеспечение пожарной безопасности в лесах, выполнение лесохозяйственной деятельности.

Государственными инспекторами выявлено 233 случаев нарушения природоохранного режима.

Выявлено экологических правонарушений:

Существо выявленного экологического правонарушения:

Незаконное нахождение, проход и проезд граждан и транспорта – 212;

- Незаконная охота – 8;
- Незаконное захоронение за пределами кладбища – 1;
- Нарушение пожарной безопасности в лесах – 3;

- Незаконные лесосечные работы (хищение древесины) – 3;
 - Иные нарушения: кража аншлагов – 2; хищение камеры фото/видеофиксации – 3; хищение металлоконструкции пожарной вышки – 1.
- Итого: 233

Изъято орудий и продукции незаконного природопользования:

- Нарезного оружия (шт.) 1
- Гладкоствольного оружия (шт.) 4
- Орудий незаконной добычи водных биологических ресурсов(шт.) 12
- Петель и иных самоловов (шт.) 9
- Полнопрофильных макетов диких гусей (шт.) 73

Проводилось пешее патрулирование – 25 000 км, на автотранспорте – 273508,64 км, акватории – 1711 км, конное – 546 км.

Госинспекторами локализовано 3 возгорания на 4,2 га площади.

В ходе совершения административных правонарушений физическими лицами причинен ущерб на сумму 80000-00 рублей.

Изучая данные, например, о патрулировании, можно сделать вывод, что при использовании современной системы с различными датчиками, модулями и фото ловушками можно было бы достаточно сократить объём патрулирования.

Возгорания также являются проблемой биосферных заповедников. Эту проблему возможно было бы решить с помощью датчиков дыма, которые могли бы быть установлены в местах с сухостоем и легко воспламеняемыми территориями леса.

4. Концепция будущего устройства

Главное устройство будет выполнено на микроконтроллере компании STM Microelectronics STM32F103C8T6. Оно будет находится в комнате охраны и подключено к сети, чтобы улавливать сигналы от других датчиков, находящихся в лесу. Остальные же устройства также будут работать на базе этого микроконтроллера, но будут включать в себя необходимые датчики, а также радио датчик, для передачи сигнала из леса.

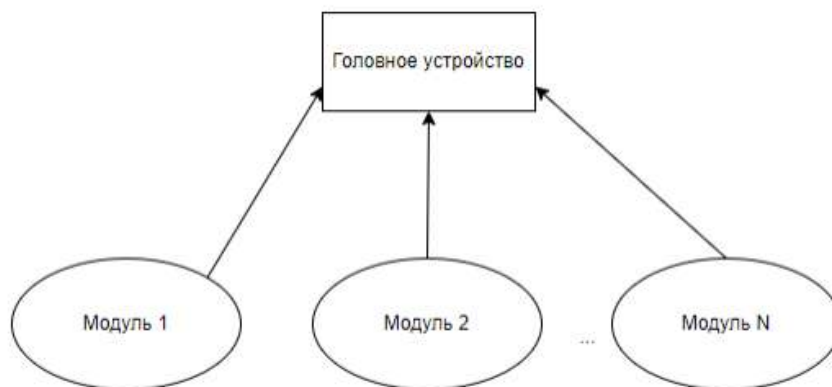


Рисунок 1. Концепция устройства

5. ОБЗОР МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Микроконтроллеры – это одни из неотъемлемых устройств в IoT-проектах. Так данный проект также является Интернетом-вещей мы будем использовать в нем микроконтроллер.

В статье мы рассмотрим микроконтроллер компании STM Microelectronics STM32F103C8T6.

Микроконтроллер STM32F103C8T6 - это однокристалльная микросхема. Она оснащена ядром ARM Cortex-M3, который работает на частоте до 72 МГц. Микроконтроллер имеет 64 килобайта флэш-памяти, 20 килобайт оперативной памяти (SRAM) и 2 килобайта EEPROM. Он также поддерживает различные интерфейсы, такие как SPI, I2C и UART.

Этот микроконтроллер будет отличным решением для нашей системы охраны. Он сможет выступать, как главным устройством, собирающим данные с других микроконтроллеров, так и базой для устройств, которые будут передавать сигналы на главное устройство. Полученные данные будут обрабатываться на главном устройстве и отправляются на центральный сервер для анализа и принятия решений.

6. Обзор используемых датчиков

6.1 Датчик движения PIR SB-312

Датчик движения PIR SB-312 – это пассивный инфракрасный датчик, который использует технологию PIR (Passive InfraRed). Датчик состоит из двух инфракрасных элементов, которые обнаруживают изменения температуры, связанные с движением человека или других объектов. Когда датчик обнаруживает движение, он генерирует электрический сигнал, который может быть использован для управления другими устройствами.

Датчик PIR SB-312 имеет следующие технические характеристики:

- Напряжение питания: 5 В
- Ток потребления: менее 50 мА
- Рабочая температура: от -15 до +70 градусов Цельсия
- Угол обнаружения: 110 градусов
- Расстояние обнаружения: до 7 метров
- Время задержки: от 5 до 200 секунд
- Регулируемая чувствительность.

С помощью датчика движения мы сможем обнаружить движение в лесу и после этого включить фотоловушку, которая определит, кто пробежал в лесу: человек или животное.

6.2 Обзор модуля беспроводной передачи данных LoRa SX-1276

Базой в IoT проектах выступает беспроводная передача данных. С помощью нее происходит общение между всеми устройствами в сети. Исходя из текущих требований, в нашем проекте будем использовать модуль беспроводной передачи данных LoRa SX-1276, для соединения микроконтроллеров в одну сеть.

Модуль LoRa SX-1276 – то модуль беспроводной передачи данных на основе технологии LoRaWAN. Этот высокопроизводительный модуль

позволяет передавать данные на расстоянии 10-15 км, в городских и лесных условиях, что соответствует нашим требованиям. Также у модуля есть настройка энергопотребления, что очень актуально в нашем проекте. Модуль, помимо передачи данных, можно также использовать для управления датчиками, света и сигнализации в комнате охраны.

Модуль LoRa SX-1276 имеет следующие характеристики:

- Поддержка частотных диапазонов 868 МГц и 915 МГц.
- Мощность передачи до 20 дБм.
- Чувствительность приемника -137 дБм.
- Поддержка передачи данных на скорости до 300 кбит/с.
- Поддержка протоколов LoRaWAN и FSK.

7. Заключение

Системы охраны биосферного заповедника станут одним из важнейших устройств в современном мире в сфере защиты природы. Защита природы – это актуальная проблема нашего общества, с помощью нашего устройства её мы сможем решить.

Она поможет службе охраны предотвращать негативное влияние человека на природу, уничтожать очаги возгорания. Эта система очень сильно облегчит работу охране.

Список литературы

1. Результаты деятельности по охране территории заповедника и заказников «Воронежский» и «Каменная степь» – Источник: <https://zapovednik-vrn.ru/activity/ohrana/rezultatydeyatelnosti/>
2. Официальный сайт STMicroelectronics https://www.st.com/content/st_com/en.html
3. Герасимов И. П. Геосистемный мониторинг и его реализация в биосферных заповедниках // Охраняемые природные территории Советского Союза, их задачи и некоторые итоги исследований. — М., 1983. — С. 88—94.
4. Соколов В. Е. Биосферные заповедники: цели и проблемы // Лекции лауреатов Демидовской премии (1993—2004). — Екатеринбург, 2006
5. Степаницкий В.Б. Государственные природные заповедники и национальные парки России: угрозы, неудачи, упущенные возможности / В.Б. Степаницкий, М.Л. Крейндин. – Москва : Гринпис России, 2004. – 47 с.
6. Археологические музеи-заповедники Российской Федерации: проблемы формирования и функционирования Том I Европейская часть России / С.В. Гусев, А.В. Загорулько, И.М. Минеева, Ю.И. Ожередов. – Томск : ТМЛ-Пресс, 2010. – 256 с.
7. Борисов, В.А. Охраняемые природные территории мира. Национальные парки, заповедники, резерваты / В.А. Борисов, Л.С. Белоусова, А.А. Винокуров. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 380 с.

8. Игльс, П. Устойчивый туризм на охраняемых природных территориях / П. Игльс, С. МакКул, К. Хайнс. – Москва : ЭкоЦентр «Заповедники», 2006. – 188 с.
9. Афоньки С.В. Заповедники России / С Афонькин. – Школьный путеводитель. – СПб : Балтийская книжная компания, 2020. – 96 с.
10. Александр Чуйков und Андрей Калач. Система контроля пожарной безопасности. – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 120 с.
11. Михаил М.А. Мобильные роботы на базе Arduino (+ набор электронных компонентов). – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 288 с.
12. Хартов В.Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 240 с.
13. Джон М. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс. – М.: Додэка XXI, 2006. – 272 с.
14. Першин В.Т. Основы современной радиоэлектроники. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 544 с.
15. Денис Р. А. Технологии беспроводного доступа. Справочник. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 352 с.
16. Пуговкин А. В. Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей: учебное пособие /. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 128 с.
17. Петин В.А. Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 320 с.
18. Ревич Ю.П. Азбука электроники. Изучаем Arduino. – М.: АСТ, Кладезь, 2017. – 224 с.

References

1. The results of activities for the protection of the territory of the reserve and reserves "Voronezh" and "Stone Steppe" – Source: <https://zapovednik-vrn.ru/activity/ohrana/rezultatydeyatelnosti/>
2. Official website of STMicroelectronics https://www.st.com/content/st_com/en.html
3. Gerasimov I. P. Geosystem monitoring and its implementation in biosphere reserves // Protected natural territories of the Soviet Union, their tasks and some research results. — М., 1983. — pp. 88-94.
4. Sokolov V. E. Biosphere reserves: goals and problems // Lectures of the winners of the Demidov Prize (1993-2004). — Yekaterinburg, 2006
5. Stepanitsky V.B. State nature reserves and national parks of Russia: threats, failures, missed opportunities / V.B. Stepanitsky, M.L. Kreindlin. – Mosca : Greenpeace of Russia, 2004. – 47 p.
6. Archaeological museums-reserves of the Russian Federation: problems of formation and functioning Volume I of the European part of Russia / S.V. Gusev, A.V. Zagorulko, I.M. Mineeva, Yu.I. Ozheredov. – Tomsk : TML-Press, 2010. – 256 p.

7. Borisov, V.A. Protected natural territories of the world. National parks, reserves, reserves / V.A. Borisov, L.S. Belousova, A.A. Vinokurov. – Moscow : Agropromizdat, 1985. – 380 p.
8. Iglis, P. Sustainable tourism in protected natural areas / P. Iglis, S. McCool, K. Hines. – Moscow : Ecocenter "Reserves", 2006. – 188 p
9. . 9. Afonki S.V. Reserves of Russia / S. Afonkin. – School guide. – St. Petersburg : Baltic Book Company, 2020. – 96 p.
10. Alexander Chuikov und Andrey Kalach. Fire safety control system. – M.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 120 p.
11. Mikhail M.A. Mobile robots based on Arduino (+ a set of electronic components). – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2017. – 288 p.
12. Khartov V.Ya. AVR microcontrollers. Workshop for beginners. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2007. – 240 p.
13. John M. AVR Microcontrollers. Introductory course. – M.: Dodeka XXI, 2006. – 272 p.
14. Pershin V.T. Fundamentals of modern radio electronics. – Rostov-on-Don: Phoenix, 2009. – 544 p.
15. Denis R. A. Wireless access technologies. Guide. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2002. – 352 p.
16. Pugovkin A.V. Fundamentals of building infocommunication systems and networks: textbook /. – Tomsk: Tomsk. state University of Control Systems and Radioelectronics, 2022. – 128 p.
17. Petin V.A. Arduino and Raspberry Pi in Internet of Things projects. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2016. – 320 p.
18. Revich Yu.P. The ABC of electronics. We study Arduino. – M.: AST, Kladez, 2017. – 224 p.

**Ягодкин А.С., Скворцова Т.В., Ачкасов А.В.,
Нестеров И.О., Симоненко А.А.**
*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

Разработка системы предупреждения водителей о возможном появлении животных на автомобильных дорогах

Аннотация. Для повышения безопасности в сфере автомобильного транспорта и решения проблемы многочисленных ДТП с участием животных мы предлагаем систему отслеживания животных в придорожной полосе. Для обеспечения непрерывного мониторинга движения животных предлагается разработать программно-аппаратную платформу. Устройства будут иметь встроенные радиочастотные submodule и смогут обмениваться данными по беспроводной сети. Эти приборы будут проектироваться таким образом, что им не потребуется техническое обслуживание для замены батарей, и они смогут полностью автономно питаться от окружающей среды.

Ключевые слова: спасение животных, снижение ДТП, датчик движения.

**Jagodkin A.S., Skvortsova T.V., Achkasov A.V.,
Nesterov I.O., Simonenko A.A.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

Monitoring and warning system for roadside animal movement

Abstract. To improve safety in road transport and solve the problem of numerous accidents involving animals, we offer a roadside animal tracking system. To ensure continuous monitoring of animal movement, it is proposed to develop a hardware and software platform. The devices will have built-in RF submodules and will be able to communicate wirelessly. These devices will be designed in such a way that they will not require maintenance to replace batteries and will be completely autonomously powered by the environment.

Key words: animal rescue, road accident reduction, motion sensor.

Введение

Вопросы безопасности движения на автомобильных дорогах актуальны во всем мире. Необходимость создания экономичного универсального решения для обеспечения непрерывного мониторинга движения животных в

придорожной полосе. Уникальность предлагаемого решения, подкрепленная полной автономностью и энергонезависимостью конечных устройств, позволит обеспечить на их базе новый уровень мониторинга движения животных, значительно снизив риски возможных дорожно-транспортных происшествий с участием животных. Универсальность платформы позволит широко ее применять и использовать эффект масштаба производства для обеспечения невысокой цены конечных изделий.

Основная часть

Количество машин и автодорог в России растет. В связи с этим столкновения с животными стали частой проблемой. Это представляет непосредственную угрозу индивидуальному выживанию животным. Кроме того, некоторые виды, находящиеся под угрозой исчезновения, могут столкнуться с еще большим сокращением численности, что может повлиять на их способность выживать как популяция.

Исследования говорят, что при интенсивности движения 2 тысячи автомобилей в сутки благополучно переходят дорогу лишь 20% животных.

За последние пару лет число погибших и раненых в авариях на дорогах России, случившихся с участием животных, выросло практически вдвое. Виной тому — коронавирус.

Эксперты связывают резкий рост числа столкновений автомобилей и животных с последствиями коронавирусных локдаунов в стране. Из-за них трафик на автодорогах заметно снизился, животные осмелели и стали чаще выходить на проезжую часть загородных магистралей. Наиболее опасными считаются столкновения с крупными животными, такими как лоси, олени, лошади, коровы или медведи. При столкновении с такими животными, автомобиль может серьезно повредиться, а водитель и пассажиры могут получить серьезные травмы, в том числе и летальные.

Чтобы избежать столкновений с животными на дороге, в настоящее время есть некоторые решения этой проблемы в виде надземных и подземных переходов, также постройка заборов и пешеходных зон для животных. Но цена таких построек может варьироваться от миллионов до нескольких десятков миллионов рублей. Также не все животные согласны переходить дорогу в тех местах, которые им построили люди. Для сокращения жертв среди людей и животных предлагается программно-аппаратное решение по мониторингу движения животных вблизи дорог и предупреждения водителей.

Программно-аппаратная платформа будет состоять из автономных конечных устройств, устанавливаемых вдоль дороги, и специальных дорожных знаков, оборудованных приемным модулем для связи с конечными устройствами, а также импульсными источниками света на базе ярких светодиодов для привлечения внимания водителей к дорожному знаку во время повышенной опасности появления животного на дорожном полотне.

С помощью алгоритма объединения датчиков наша система объединит информацию из двух разных технологий 2D-датчиков для создания 3D-информации. Радарный датчик чрезвычайно чувствителен к радиальному движению и предоставляет информацию о глубине объектов, которой нет у

ИК-датчиков, в то время как двумерный ИК-датчик обеспечивает высокое угловое разрешение. Комбинируя информацию о глубине и угловых координатах, можно вычислить расположение и размеры объектов.

Данные с этих устройств будут отправляться на главный модуль, установленный на знаке по беспроводной сети (протокол LoRaWAN), где будут преобразованы в световой сигнал в виде мигающих фонарей.

Для увеличения срока автономной работы устройств будет обеспечиваться сбор и накопление солнечной энергии с использованием фотоэлектрической панели и АКБ соответствующей емкости.

Основные технические параметры:

- Конечные устройства будут иметь сенсоры для обнаружения крупных животных в придорожной полосе (PIR-SB312)
- Радиус обнаружения (для одного КУ) 10 метров.
- Автономность работы конечных устройств – более 1 года.
- Рабочие температуры – от -30°C до +60°C
- Расстояние между датчиками - 20 метров.
- Расстояние между знаками - 300 метров.
- Частота сигнала передачи конечными устройствами - 864 - 870 МГц
- Вес конечных устройств обнаружения – не более 200 г.

Основным конкурентным преимуществом станет полная автономность и энергонезависимость конечных устройств. Стоимость базового решения для одной локации, состоящего из специализированного дорожного знака и комплекта конечных устройств находится в диапазоне 45000-50000 руб. Цена представлена за покрытие дороги расстоянием 100 метров, что гораздо дешевле других способов решения задачи.

В изучении данного вопроса, мы натолкнулись на подобные решения из зарубежных стран, таких как США, Канада и Австралия. Так, например, согласно отчёту Федеральной Администрации автомобильных дорог, в США за 2009 приводится эффективность 82-91%. После завершения двухлетней оценки после реализации, результаты показывают, что проект снизил количество столкновений лосей с транспортными средствами на 96 процентов в районе каньона Проповедника, при этом произошло только одно столкновение лосей с транспортными средствами за 2,5 года по сравнению с 12 столкновениями в год.

В странах зарубежья мы смогли найти несколько вариантов решения данного вопроса. Например, в ограниченных местах уже внедрены подобные устройства с технологиями радара и тепловой камеры. Остальные же устройства находятся на исследовательском уровне. Все эти технологии объединяет высокая цена на готовое устройство и малую автономность.

Заинтересованные лица

Так как все большинство федеральных трасс находится в федеральной собственности, то основное заинтересованное лицо – это государство (в лице ГИБДД, Росавтодор, Минтранс) и, безусловно, оно замотивировано в

эффективности использования автомобильных трасс и повышении их безопасности, а данный проект позволит уменьшить количество ДТП с участием животных.

Также заинтересованными лицами являются Минприроды, лесные хозяйства, организации, осуществляющие управление особо охраняемыми природными территориями (заповедниками, национальными и природными парками, заказниками). Они заинтересованы в сбережении экосистем охраняемых природных территорий, включая сохранение численности животных (в т.ч. редких).

Важным также является то, что перечисленные лица заинтересованы в минимизации финансовых затрат на решение проблемы. Вместе с тем традиционные способы (возведение ограждений, устройство переходов) являются высокозатратными.

Решение с помощью устройств отпугивания животных не являются приемлемыми для охраняемых природных территорий, т.к. часто препятствуют миграции и естественному передвижению животных в пределах ореолов обитания.

Планируется постоянное взаимодействие с государственными органами по вопросам решения проблемы непрерывного мониторинга движения животных вблизи дорог и мотивация «держателя» проблемы очевидна, выход на потенциальных потребителей произойдет сразу после разработки проекта.

Также следует отметить, что Автомобильный факультет ВГЛТУ имеет тесные многолетние связи с региональными ГИБДД, и автодорожными предприятиями пяти областей Центрально-Черноземного региона. Планируется взаимодействие с соответствующими службами этих организаций с целью продвижения решения.

Потенциальную емкость рынка можно определить исходя из общей протяженности автомобильных дорог в мире 64,3 млн. км (а в РФ 1,5 млн. км). и средней протяженности опасных участков автодорог в 4,5% (из них порядка 10% приходится на участки с рисками появления животных). Таким образом протяженность автомобильных дорог требующих мониторинга движения животных составляет около 290 тыс.км. (для РФ 6,75 тыс. км). Для мониторинга такой протяженности потребуется порядка 1,45 млн. комплектов (для РФ 33,8 тыс. комплектов). С учетом среднего срока эксплуатации 10 лет и стоимости комплекта 90 тыс. руб. потенциальная финансовая емкость мирового рынка составит 130 млрд. руб. в год (для РФ 300 млн. руб. в год)

Заключение

Непрерывный мониторинг движения животных в придорожной полосе позволит заблаговременно выявлять их присутствие в опасной близости от дорожного полотна и посредством специализированного знака и импульсного светового сигнала предупреждать водителя о необходимости снижения скорости и повышения его внимания, что в итоге значительно сократит количество ДТП с участием животных.

Список литературы

1. Скроч Мэйт /Том Сент-Хилэр Wildlife-Vehicle Collisions Are a Big and Costly Problem and Congress Can Help, 2021 г.
2. КоТМупа, Дикие аварии, 2021 г. –URL: https://pikabu.ru/story/dikie_avarii_8593507
3. Буденков Д. В России резко возросла смертность в ДТП с животными, 2022 г. –URL: <https://www.gazeta.ru/auto/news/2022/02/11/17274709.shtml>
4. Стало известно, сколько животных гибнет на дорогах в России, 2021 г. – URL: https://pikabu.ru/story/stalo_izvestno_skolko_zhivotnyikh_gibnet_na_dorogakh_v_rossii_8332569?ysclid=lgewkvb21p738442977
5. Havahart, Wildlife on the Road –URL: <https://www.havahart.com/wildlife-on-the-road#:~:text=In%20a%20given%20year%2C%20there,and%20over%20150%20human%20fatalities.>
6. Кашкаров А.П. Электронные системы охраны с пироэлектрическими датчиками и способы их нейтрализации. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 96 с.
7. Хартов В.Я.. Микропроцессорные системы. Учебное пособие. – М.: Academia, 2014. – 368 с.
8. Нандуту Ирэн / Марселин Атемкенг/ Патрис Окума Intelligent Systems Using Sensors and/or Machine Learning to Mitigate Wildlife–Vehicle Collisions: A Review, Challenges, and New Perspectives –URL: <https://datafromsky.com/news/ai-detects-animal-and-improves-road-safety/>
9. Соренсен Б.. Преобразование, передача и аккумулялирование энергии. – М.: Интеллект, 2011. – 296 с.
- 10.Туданов Р.А. Гибель животных на дорогах в результате столкновения с автомобильным транспортом, 2007. – 8 с.
- 11.Гибель животных на дорогах: оценка воздействия автотранспорта –URL: <https://happy-pet.ru/гибель-животных-на-дорогах-оценка-воз/>
- 12.Смерть как привычка. Трагедии животных на дорогах, 2023г. –URL: <https://www.ohotniki.ru/editions/rog/article/2023/05/11/663484-smert-kak-privyichka-tragedii-zhivotnyih-na-dorogah.html>

References

1. Matt Skrock/Tom St. Hilaire Wildlife-vehicle collisions are a big and costly problem, and Congress can help, 2021
2. KotMupa, Wild accidents, 2021 –URL: https://pikabu.ru/story/dikie_avarii_8593507
3. Budenkov D. In Russia, mortality due to accidents with animals has increased sharply, 2022 - URL: <https://www.gazeta.ru/auto/news/2022/02/11/17274709.shtml>.

4. It became known how many animals die on the roads in Russia, 2021 –URL: https://pikabu.ru/story/stalo_izvestno_skolko_zhivotnyikh_gibnet_na_dorogakh_v_rossii_8332569?ysclid=lgewkvb21p738442977
5. Havahart, Wildlife on the Road - URL: <https://www.havahart.com/wildlife-on-the-road#:~:text=In%20a%20given%20year%2C%20there,and%20over%20150%20people%20dead.>
6. Kashkarov A.P. Electronic surveillance systems with pyroelectric sensors and methods for their neutralization. – M.: DMK Press, 2015. – 96 p.
7. Hartov V.Y. Microprocessor systems. Tutorial. – M.: Academy, 2014. – 368 p.
8. Nandutu Irene / Marcelin Atemkeng / Patrice Okuma Intelligent systems using sensors and/or machine learning to mitigate wildlife-vehicle collisions: review, challenges and new perspectives - URL: <https://datafromsky.com/news/ai-detects-animals-and-improve-road-safety/>
9. Sorensen B. Conversion, transmission and storage of energy. – M.: Intellect, 2011. – 296 p.
10. Tudanov R.A. Death of animals on the roads as a result of accidents with motor vehicles, 2007. – 8 p.
11. Death of animals on the roads: assessment of the impact of motor transport - URL: <https://happy-pet.ru/death-of-animals-on-the-roads-assessment-who/>
12. Death as a habit. Animal tragedies on the roads, 2023 –URL: <https://www.ohotniki.ru/editions/rog/article/2023/05/11/663484-smert-kak-privyichka-tragedii-zhivotnyh-na-dorogah.html>

СЕКЦИЯ 8. ИСТОРИОГРАФИЯ И МИФОЛОГИЯ ЛЕСА

DOI: 10.58168/Forestry2023_644-648

УДК 93/94

Семенова Е.В.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

История развития степного лесонасаждения в Российской империи

Аннотация. В статье рассматриваются основные этапы возникновения и развития степного и защитного лесоразведения в дореволюционной России. Уделяется внимание как формированию теоретической базы, так и практическим мероприятиям по облесению степей, созданию лесозащитных полос вдоль железных дорог и на границах пахотных земель. Особое внимание уделено экспедиции профессора В.В. Докучаева.

Ключевые слова: лес, степь, лесонасаждение, лесозащитные полосы.

Semenova E.V.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G F Morozov, Voronezh*

History of the development of steppe forestation in the Russian Empire

Abstract. The article examines the main stages of the emergence and development of steppe and protective afforestation in pre-revolutionary Russia. Attention is paid to both the formation of a theoretical basis and practical measures for afforestation of steppes, the creation of forest shelterbelts along railways and on the borders of arable land. Particular attention is paid to the expedition of Professor V.V. Dokuchaeva.

Key words: forest, steppe, afforestation, forest shelterbelts.

1. Введение

Всегда считалось, что лес – одно из основных природных богатств нашей страны, причем долгое время казалось, что это богатство неисчерпаемо, поэтому можно им пользоваться бесконтрольно. Понимание того, что лес как государственное достояние надо охранять от пожаров и незаконных порубок, появилось уже давно, а вот то, что одной охраны недостаточно, и необходимо восстанавливать, появилось гораздо позже. Первым правителем, осознавшим необходимость восстановления лесов Российской империи, был Пётр I. Он, конечно, руководствовался не экологическими, а чисто практическими соображениями. Для строительства флота нужен был лес наивысшего

качества, корабельный, а его запасы оказались под угрозой в значительной степени в результате деятельности самого Петра I. Еще позже была осознана польза от разведения лесов не только на месте вырубленных массивов, но и там, где их раньше не было – в степях и пустынях. Лесные насаждения там могли помочь в защите пашенных земель от засухи и эрозии, а также в защите железнодорожных путей от снежных заносов. Так появилось степное лесонасаждение, которое многие ученые-лесоводы считают целиком русской историей [1].

2. Результаты и их обсуждение

Значение лесов как почвозащитного фактора понимали уже при Иване Грозном. Так, в 1563 г. были запрещены порубки леса вдоль берегов Двины: «...и того лесу не чистити и дров не сечи и лык не дроти, а тот лес затулою от леду и воды». Велико было значение лесов для обороны страны при нашествиях татар. В оборонительных целях устраивались заповедные засеки – оборонительные сооружения из поваленных вершинами к противнику деревьев.. Конечно, такие леса страдали от собственно засек, но ширина засеки обычно была не более 4-5 км, зато весь лес был под строгой охраной государства. Там запрещалось не только рубить деревья, но и просто заходить [2]. Петр I как никто понимал стратегическое значение лесов как материала для постройки морского флота, поэтому издал ряд указов, направленных не только на охрану лесов, но и на их восстановление путем искусственного лесонасаждения. Так, в 1703г. вышел указ о выделении запретных (для рубки и иного хозяйственного использования) полос вдоль больших (Волга, Днепр, Дон) и малых (Воронеж, Десна, Хопер) рек шириной 50 верст и 20 верст соответственно. Затем надо было следить за соблюдением запретов и сбережением лесов. С этой целью в 1718 г. создается государственная лесная стража для охраны пока только корабельных лесов. Следующий шаг – создание центрального органа управления лесами. И в 1719 г. был организован единый государственный орган – Адмиралтейство, а при нем – Лесная часть. 1722 г. создается служба вальдмейстеров. Вальдмейстеры (от нем. слова Waldmeister) – надзиратели за лесами. Согласно "Инструкции обер-вальдмейстеру" 19 июля 1722 года (дополненной 3 декабря 1723 г.), все леса Империи подчинены адмиралтейств-коллегии, Дубовые леса полагалось описать и в тех из них, которые находились в плохом состоянии, произвести посев желудей. Лесосеки после вырубki следовало «запускать молодым лесом».

Еще в 1696 г. по распоряжению Петра I в урочище «Большая черепаха» около г. Таганрога была посажена дубовая роща, просуществовавшая до 1942 г. На берег Финского залива в 1717 г. была завезена земля и посажено несколько тысяч молодых дубов. Так появилась роща «Петровские дубки» в Сестрорецке. Сейчас это любимые местными жителями парки.

В правление Екатерины II был издан новый Лесной устав и также принято несколько указов о сохранении и выращивании лесов. Например, указ об аллейной обсадке дорог. Несмотря на то, что его целью было декоративное

оформление дорог и их фиксирование в бескрайних степях, но эти посадки оказались весьма удачными и впоследствии сыграли роль и в правильном снегораспределении, что положительно влияло на прилегающие поля. В 1787 г. по распоряжению Потемкина-Таврического была предпринята попытка выращивания дубов посевом желудей близ г. Николаева.

И все же в XVIII – начале XIX вв. искусственное разведение лесов было в основном делом энтузиастов, которые пропагандировали его и предпринимали отдельные попытки лесовыращивания. Еще в 1724 г. публицист Иван Посошков в своей книге «О скудости и богатстве» писал: «А коя степь гораздо гола и леса удалели, то тамошние жители всякой бы к своей деревне занял десятин десяток другой и вспахал бы осенью наметал бы семян леснова, березоваго и липоваго, и кленоваго, и дубоваго, и вязаваго.» [3] . Один из первых российских селекционеров А.Т. Болотов написал несколько десятков статей о выращивании леса в лесостепи, например, в 1766 г. вышла статья «О рублении, поправлении и заведении лесов». В 1767 г. первый член-корреспондент Петербургской Академии наук П.И. Рычков опубликовал работу «О сбережении и размножении лесов». Помимо теоретиков появляются и энтузиасты-практики. И.Я. Данилевский на сыпучих песках Северного Донца в период с 1804 по 1818 гг. вырастил в своем имении «Пришиб» 1 тыс. га соснового леса. Этот бор просуществовал до 1887 г. В 1822 г. начались работы по созданию защитных насаждений в селе Меховое Орловской губернии (Шатиловский лес). В 1827 г. началось лесонасаждение на землях Уральского казачьего войска в Оренбургском крае. В 30 -40 гг. XIX в. становится популярным облесение вокруг военных поселений. В 1837 г. по всем южным губерниям была разослана «Инструкция об укреплении летучих песков разведением на них леса».

Системное лесоразведение начинается в России с 1843 г., когда было создано первое опытное степное Велико-Анадольское лесничество. Место для закладки лесничества было выбрано в открытой степи, на Бердянско-Мариупольской возвышенности. Перед лесничеством были поставлены следующие задачи: доказать возможность лесонасаждения в открытой степи; подобрать опытным путем наиболее пригодные для этого породы деревьев; выбрать наиболее подходящие способы лесонасаждения; способствовать популяризации степного насаждения и подготовить специалистов в этой области. Заведовать лесничеством был назначен молодой лесничий Виктор Егорович Графф, который проработал там до 1865 г. Он освоил около 157 га насаждений и испробовал возможности выращивания более 70 древесных и кустарниковых пород. В первые 20 лет посаженные им растения развивались хорошо, но затем стали болеть и усыхать. Вероятной причиной стал неправильный выбор пород для тяжелых степных условий. В.Е.Графф был настоящим энтузиастом степного лесоразведения, жил вместе с семьей в очень тяжелых условиях, все силы отдавая любимому делу.

В 1876 г. около станции Горная Ростовской губернии на отрогах Донецкого кряжа было создано Донецкое степное лесничество, его первым лесничим был назначен Ф.Ф. Тиханов. С 1884 по 1888гг. в Ростовской

губернии организовались еще четыре лесничества – Атаманское, Манычское, Сальское и Быстрианское. Общее руководство которыми было возложено на Ф.Ф. Тиханова. В отличие от В.Е. Граффа, он применял новые методы выращивания посадочного материала на открытом грунте с целью повышения его устойчивости к внешним условиям.

Так развивалось массивное лесонасаждение, т.е. попытки выращивать новые лесные массивы – боры, дубравы. Наряду с ним продолжается и совершенствование защитного, полосного лесоразведения. В 1876 г. А.А. Карьер приступил к посадке полезащитных полос в Херсонской губернии. Тогда же Н.К. Сретинский начал работы по созданию защитных насаждений вдоль железных дорог. Это был первый в истории опыт по выращиванию многорядных полос из лиственных деревьев для защиты от снежных заносов. Новизна этого дела стала причиной споров среди специалистов. Противники утверждали, что за границей подобного опыта еще нет, и даже « в республике С.А. Штатов пока еще не сделано по этой части ничего»[4]. Однако лесное сообщество в целом поддержало Н.К. Сретинского, железнодорожники тоже с энтузиазмом отнеслись к проекту и уже в 1887 г. снегозащитные полосы имелись на 33 железных дорогах, составлявших 65% от общей протяженности путей.

Особое значение имели защитные насаждения на границах степей и пахотных земель. Здесь были необходимы мощные заслоны, способные ослабить юго-восточные суховеи. В 1882 г. такие работы развернулись на юго-востоке под руководством ученого-лесоведа Н.К. Генко. Общая площадь полос, посаженных под его руководством, составила 18 тыс. га. Считается, что идеи Н.К. Генко были использованы в США в 1934-1935 гг. при проектировании так называемого «защитного пояса Рузвельта», который должен был протянуться от Канады до Южного Техаса [1]. После жесточайшей засухи 1891 г. была организована «Особая экспедиция по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России» профессора В.В. Докучаева. В задачи экспедиции входило: точнее изучить неблагоприятные особенности природы степей; выявить род и размер степных невзгод; найти в ряду особенностей степей такие, которые позволят бороться с невзгодами; поставить ряд опытов, имеющих целью улучшение условий степного хозяйства. Среди конкретных работ намечалось : насаждение леса в степи по водоразделам; насаждение леса в местах, малопригодных для этого (пески, каменистые, солончаковые места); насаждение леса по сухим и обводненным балкам; облесение оврагов. Для осуществления этих работ были заложены три лесокультурных участка: 1. Хреновской – на водоразделе Волги и Дона в Воронежской губернии. Сюда входила и Каменная степь, поэтому этот участок стал называться Каменностепным. 2. Велико-Анадольский около Велико-Анадольского лесничества. 3. Деркулский или Старобельский между Доном и Северным Донцом. Экспедиция провела много ценных исследований по изучению природных условий степи. На всех опытных участках были заложены полезащитные полосы и налажена работа по наблюдению над ними и их

влиянием на урожай сельскохозяйственных культур. Руководитель экспедиции профессор Петербургского университета, основоположник почвоведения В.В. Докучаев провел тщательный анализ причин возникновения засух в степи и лесостепи европейской части России и наметил план борьбы с ними, основанный на комплексном подходе к изучению природных явлений. В этом комплексном подходе большое внимание уделялось системе защитных лесонасаждений, которые должны были улучшить водный режим и климатические условия местности. Несмотря на плодотворную работу, экспедиция была закрыта в 1899 г. «за неимением кредитов».

3. Заключение

Россия – страна с богатейшими лесными ресурсами, но также и страна с обширной зоной рискованного земледелия. Основная масса пахотных земель в России располагалась по соседству со степями и песками, из которых приходили суховеи, несущие засуху. Чтобы не допустить распространение песков на плодородные земли и сократить бедствия, причиняемые засухами, в нашей стране развивалось степное лесонасаждение. Огромные просторы нашей страны были связаны между собой продолжительной сетью железных дорог, которые в степных зонах подвергались снежным заносам. Для борьбы с этим явлением также применялись защитные лесные полосы, которые высаживались вдоль дорог. Многие выдающиеся ученые-лесоводы работали в этих направлениях, сочетая теоретические разработки с практикой лесонасаждения, и многого достигли.

Список литературы

1. Rubtsov N I 1970 Brief history of protective and steppe forestry Leningrad 97p.
2. Bobrovsky M V 2002 Kozelsky abatis (ecological and historical essay). Kaluga 92 p.
3. Pososhkov I. 1951 About poverty and wealth Moscow 270 p.
4. Peterson E A 1877 About protective plantings Forest Journal №2.

References

1. Rubtsov N I 1970 Brief history of protective and steppe forestry Leningrad 97p.
2. Bobrovsky M V 2002 Kozelsky abatis (ecological and historical essay). Kaluga 92 p.
3. Pososhkov I. 1951 About poverty and wealth Moscow 270 p.
4. Peterson E A 1877 About protective plantings Forest Journal №2.

Титова О.Ю.

*Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

«Хозяин» леса в южнорусских мифологических нарративах

Аннотация: В русских мифологических нарративах XIX – начала XX века о духах-«хозяевах» природного пространства образ лешего – один из центральных. Складывавшийся на протяжении столетий, он впитал в себя черты стихийного духа, олицетворяющего шумящий под ветром лес, атрибуты божества – "хозяина" определенной территории, а также предка-покровителя живущих среди лесных просторов людей. В данной работе рассматривается образ лешего в мифологических представлениях южнорусского населения XIX – начала XX века, предпринята попытка выявить степень его сохранности и трансформации в нарративах начала XXI века.

Ключевые слова: южнорусское население, мифологические представления, духи-«хозяева» природы, леший.

Titova O.Yu.

*Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh*

The "master" of the forest in South Russian mythological narratives

Abstract: In the Russian mythological narratives of the XIX – early XX century about the spirits-"masters" of natural space, the image of the goblin is one of the central ones. Formed over the centuries, it absorbed the features of the elemental spirit, personifying the forest rustling in the wind, the attributes of the deity – the "owner" of a certain territory, as well as the ancestor-patron of people living among the forest expanses. This paper examines the image of the goblin in the mythological representations of the South Russian population of the XIX – early XX century, an attempt is made to identify the degree of its preservation and transformation in the narratives of the early XXI century.

Keywords: South Russian population, mythological representations, spirits-"masters" of nature, leshii.

1. Введение. Важной составной частью традиционной культуры русских являются мифологические представления, изучение которых позволяет приблизиться к сути мировосприятия народа на протяжении длительного исторического времени: прежние особенности быта и общественных отношений, влияние народов на культуру друг друга – все это в той или иной мере отражалось в мифологии. Передаваясь из поколения в поколение, религиозно-мифологические идеи формировали многослойные сочетания воззрений разного происхождения и исторической глубины. Большинство представлений о мифологических персонажах, сохранившихся вплоть до настоящего времени, относятся к древнеславянской демонологической традиции и представляют собой, говоря словами С.А. Токарева, «живой музей истории народа, если только уметь его понимать» [23, с. 3].

Целью настоящего исследования является выявление в южнорусских мифологических нарративах XIX – начала XX века представлений о «хозяине» леса – лешем, сопоставление результатов с данными начала XXI века, рассмотрение степени сохранности и возможных трансформаций образа в современной повседневной-бытовой культуре населения (преимущественно сельского) южнорусской этнографической зоны.

2. Материалы и методы

Методы данного исследования относятся к двум основным уровням: сбор фактического материала; его интерпретация и анализ. Для сбора были использованы фольклорно-мифологические (народные поверья, былички, бывальщины) и лингвистические (русская мифологическая лексика) источники, которые содержатся в многочисленных архивных документах конца XIX – начала XX века [1, 2, 3]. Кроме того, в процессе работы мы обращались к трудам исследователей разного времени, внесших значительный вклад в изучение мифологических представлений русского народа: Д.Н. Ушакова [24], В.И. Даля [9, 10], Д.И. Зеленина [14, 15], С.А. Токарева [23], Н.А. Криничной [17], В.И. Дынина [12, 13] и других. Для выявления степени сохранности и возможных изменений исследуемого мифологического образа использованы полевые материалы автора и другие архивные данные начала XXI века [4,5].

3. Результаты и их обсуждение

С точки зрения этнографического районирования, в пределах расселения русского народа на территории Европейской части России четко выделяются две большие историко-культурные зоны – Севернорусская и Южнорусская [7]. В основе такого этнокультурного деления лежит специфика говоров, а также некоторых элементов духовной и традиционно-бытовой культуры [20]. Это не государственно-политическое понятие, в силу чего его границы не совпадают с современным административно-территориальным делением. По соотношению с административным делением Российской империи начала XX века, Южнорусская историко-культурная зона включала в себя Орловскую, Курскую, Воронежскую, Тамбовскую, Рязанскую (к югу от р. Оки), Тульскую губернии, южные уезды Калужской и Смоленской губерний, западные уезды Пензенской и

Саратовской губерний. На сегодняшний день это территории Орловской, Брянской, Курской, Белгородской, Воронежской, Липецкой, Тамбовской, Рязанской, Тульской, Калужской, Смоленской, Пензенской, Саратовской областей и Республики Мордовия [25, с. 54-55].

Мифоним *леший* имеет повсеместное распространение в Южнорусской зоне, однако, это не исключает ряда локально специфичных наименований персонажа, отмеченных в конце XIX – начале XX века: *лесовой* (Смоленская, Калужская, Орловская губернии), *лесовой черт* (Калужская губерния) [1, д.156; 2, р. 15; 3, д. 973], в Воронежской и Тамбовской губерниях лешего называли *гаркун* (от «гаркать» – 'громко кричать') [10, с. 344], *щекотунчик* (Пензенская губерния) [2, р. 28]. Зафиксированный в Орловской губернии мифоним *ворог* ('враг', 'нечистая сила'), возможно, подчеркивает родство этого персонажа с прочей нечистью [12, с. 101].

Как правило, в представлениях населения изучаемого региона в конце XIX – начале XX века фигурирует леший в виде *обыкновенного человека*, чаще всего – *старика*. К примеру, в Калужской губернии зафиксировано: «Идет старик, рубашка на нем белая, веревочкой подпоясана, онучи на нем чистые, лапти новые, в руках дубина, сам как лунь белый, такой коренастый да здоровый – страсть!» [3, д. 493].

Следует отметить, что кроме лешего, геронтоморфный облик имеют и другие персонажи, относящиеся к категории духов-«хозяев» (водяной, домовый и т.п.). Это связано, по мнению Ю.М. Соколова, с тем, что «низшая мифология, типичная для земледельческой родовой коммуны, объясняет окружающую человека жизнь природы по образу и подобию большой семьи: полем, лесом, рекой, домом распоряжается "хозяин" в образе деда»; «вот почему при всех индивидуальных отличиях религиозных образов, соответственно особенностям каждого отдельного явления природы, эти духи неизменно представляются в виде стариков, дедушек» [19, с. 28-29].

В изучаемом регионе в конце XIX века спорадически отмечался *антропозоморфный облик* лешего: в виде обросшего шерстью человека, с хвостом и рогами [3, д.1130]. Подобный облик часто имеют и многие другие персонажи русской мифологии (домовой, водяной, полевой, болотный и т.п.). Свообразием отличались представления о морфологии лешего, зафиксированные в конце XIX века у полехов Калужской губернии. Здесь он, по рассказам крестьян, имел вид какого-то «*туманного столба*», движущегося «*между деревьями*» [Там же, д. 493].

Отмечены также поверья населения Южнорусской этнографической зоны конца XIX – начала XX века о цветовой атрибутике изучаемого персонажа. При этом, в западной части изучаемого региона, охватывающей территории Калужской, Курской, Тульской и Орловской губерний, были распространены характерные представления о *белом цвете* тела (шерсти, волос, глаз) и одежды лешего. Так, по поверьям полехов Жиздринского уезда Калужской губернии, он появляется в белой рубашке и «сам как лунь белый» [Там же]. В Калужском уезде той же губернии крестьяне отмечали: ««является во всем белом, носит одежду белого цвета» [Там же]. Жителей Рославльского уезда Смоленской

губернии видели его человеком «с белыми выпуклыми глазами», а если он принимает вид волка, то непременно белого цвета [Там же].

Согласно поверьям крестьян Орловской губернии, леший имеет *большие выпученные глаза* [Там же, д. 1077]. Аналогично в Рославльском уезде Смоленской губернии считалось, что он «имеет вид человека с белыми выпуклыми глазами, выражение лица у него такое, какое встречается у человека испуганного, когда он, по народному выражению, таращит свои бельмы» [11, с.4].

В облике лешего в южнорусских мифологических представлениях конца XIX – начала XX века часто прослеживается противопоставление *наготы* и *одежды*. Следует отметить, что в обнаженном виде в русской мифологии представляется не только леший, но и многие другие мифологические персонажи (ведьма, леший, русалка и т.д.). Как показала Н.А. Криничная, признак *нагой-одетый* соотносится с оппозициями *природа – культура, человек – не человек*, а часто отмечающийся *мотив наготы (раздетости)* мифологического существа – знак его лиминальности, т.е. пребывания между «тем» и «этим» мирами, когда он не *там*, но и не *здесь* [17, с. 356].

Если леший одет, то в обычную *крестьянскую одежду* (Жиздринский уезд, Калужской губернии) [3, д. 493], *солдатский мундир* (Тульская губерния, Чернский уезд) [16, с.22], но может появиться и в *звериной шкуре* (Рязанская губерния) [3, д. 1446].

Леший, подобно другим персонажам мифологии изучаемого региона, мог принимать как *антропоморфные*, так и *зооморфные* облики. Чтобы сбить с пути прохожего он становился *ямщиком, кучером* [16, с.236; 1, д.50; 3, д. 1295]. По мнению Д.Н. Ушакова, образ ямщика является вообще преобладающим «в рассказах о проделках лешего над путниками» [24, с. 218-219]. В зафиксированных материалах АРЭМ конца XIX – начала XX века леший нередко появляется на *тройке лошадей* [3, д. 1067].

Зооморфные метаморфозы изучаемого персонажа, по материалам конца XIX – начала XX века, также достаточно разнообразны. Среди них: *волк* (Смоленская губерния, Рославльский уезд, Орловская губерния, Болховский уезд) [3, д. 1133], *заяц* (Орловская губерния, Болховский уезд) [Там же], *птица* (Орловская губерния, Болховский уезд) [Там же], *домашний скот* (Калужская губерния, Жиздринский уезд) [3, д. 156], *лошадь* (Орловская губерния, Болховский уезд), [3, д. 1133] *собака* (Калужская губерния, Жиздринский уезд) [1, д. 156], *кошка* (Калужская губерния, Жиздринский уезд) [Там же].

По представлениям населения Южнорусской историко-культурной зоны конца XIX века, «хозяин» леса *не имеет тени*. В с. Бобрики Епифанского уезда Тульской губернии, например, записан рассказ о том, как к одному крестьянину, ехавшему в лесу, подсел на телегу попутчик, и тот, к большому удивлению, не мог найти тени от своего седока, в результате чего крестьянин решил, что это леший в образе знакомого подсел к нему на телегу [1, д. 163]. Мифологический мотив отсутствия у сверхъестественных существ тени, по мнению Н.А. Криничной связан с тем, что леший «сам тень, т.е. душа, дух, который принимает тот или иной облик, но может и не принять никакого» [17, с. 357-358].

Основная локализация лешего, по представлениям южнорусского населения в конце XIX века, – *лес*; причем, чаще всего, это *большие леса*, или *глухие места (чащи)* леса. При этом очень часто указывается, что данный персонаж обитает «на высоте»: «среди ветвей объемистых деревьев» «на суку елки», «над лесом», на «древесных ветвях» [3, д. 973, 1009, 1340; 16, с. 19] и т.п. В некоторых локальных традициях Южнорусской зоны влияние лешего распространяется не только на лес, но и на *поля и луга* (Калужская губерния, Козельский, Мещовский уезды) [24, с. 157]. Одна из возможных его локализаций (собственно, как и многих других представителей «нечистой силы») – на *перекрестке* (Орловская губерния, Брянский уезд) [3, д. 973]. В Болховском уезде той же губернии считалось, что леший иногда ходит *в деревню, в кабаки* [Там же, д. 1133].

Активизация деятельности данного персонажа связана в южнорусских поверьях с днем *Агафона-огуменника (22 августа)*, когда он выходит из леса и «дуриет в поле, раскидывает снопы по гумнам» (Тульская губерния) [10, с. 4; 18, с. 50].

Лешему в южнорусских поверьях конца XIX – начала XX века приписывается способность *разговаривать*. Его характерной «поговоркой» считается слышимая уже издали фраза: «Шел, нашел, потерял» [14, с. 83]. Часто леший, увлекая путников в чащу, зовет их по имени знакомым голосом (Смоленская губерния) [11, с. 4-5]. Пытаясь сбить человека с дороги и завлечь его вглубь леса, он также *плачет, как ребенок, громко кричит*, или *аукает* (Калужская, Курская губернии) [2, р. 19; 3, д. 522, д. 549]. Характерным акустическим его проявлением является и *хохот*. По рассказу крестьян Скопинского уезда Рязанской губернии 1898 г., «в 12 часов ночи некоторые слышали крики лешего, похожие на людской смех» [3, д. 1463]. Леший «оглашает лес диким хохотом», когда «заведет» путника (Курская, Рязанская губернии) [1, р. 19; 3, д. 1448]. По представлениям однодворческого населения Рязанской губернии (Скопинский, Зарайский уезды), он *ржет как жеребенок, кричит птицей и хлопает в ладоши* [3, д. 1448, д. 1463].

Одной из функций лешего в мифологии Южнорусской зоны конца XIX – начала XX века является способность *повелевать дикими животными*. Так, в Рыльском уезде Курской губернии считали, что «в ведении лешего все лесные звери и птицы, он гоняет стада зайцев и волков, а являясь властелином не только леса, но и полей, к этим стадам он присоединяет также стада полевых мышей и крыс» [24, с. 158]. По поверьям крестьян Елифанского уезда Тульской губернии, лешие «напускают волков» на скот [1, д. 163] и т.п.

Повсеместно распространенными в регионе являлись поверья о том, что изучаемый персонаж *сбивает людей с дороги, заводит и заставляя блуждать в лесу*. По рассказам полехов Козельского уезда Калужской губернии, «леший ходит за человеком, который кружит и про себя хохочет. Это называют *блудом*» [3, д. 534].

Еще одна вредоносная функция данного мифологического персонажа – *похищение женщин и детей*. По поверьям полехов Жиздринского уезда Калужской губернии (1898 г.), лешие «похищают девушек в жены себе» [Там же,

д. 493]. Крестьяне Смоленской губернии считали, что они «уводят» женщин «больше строптивых и плохо живущих с мужьями» [11, с. 5]. По мифологическим представлениям крестьян Ельнинского уезда Смоленской губернии, леший «заманивает в глушь девиц и детей, которые возвращаются поврежденными и ничего не говорят о своем пребывании у лешего» [24, с. 159]. Крестьяне Тульской губернии считали, что от леших *у женщин могут рождаться дети*, но такие дети исчезают, и их никто не видит [16, с. 22]. Обращает на себя внимание тот факт, что такие представления были распространены преимущественно в западной части Южнорусской зоны.

Возможно, похищения людей, предпринимаемые лешим, указывают на один из рудиментарных генетических истоков этого образа, как «предкародоначалника»: «похищение лешим» – это особая метафора переживания человеком своего лиминального состояния при прохождении каждого из этапов жизненного цикла (рождение, инициации, брак, смерть) [14, с. 427].

Одной из характерных функций лешего в южнорусской мифологии конца XIX – начала XX века является *щекотка*. Поверья о том, что «хозяин» леса *щекочет людей*, распространены в Южнорусской историко-культурной зоне не повсеместно, а преимущественно только в его восточной части, в частности, в Пензенской губернии. Например: «Лешие ловят заблудившихся и защекочивают до смерти» [3, д. 1293], или: «схватит же, и ну щекотать. Ты разливаешься смехом, а он все угрюмей становится» [Там же, д. 1304].

Необходимо отметить, что в западной части Южнорусской историко-культурной зоны отмечены прямо противоположные представления: «заблудившегося в лесу леший никогда не щекочет, это дело русалок» (Смоленская губерния) [3, д. 1673], «лесовые не представляются злыми, не приходилось слышать, что они защекочивают людей» (Калужская губерния, Жиздринский уезд) [Там же, д. 493], «леший не может защекотать человека до смерти, т.к. в его душе он не волен» (Калужская губерния, Калужский уезд) [Там же, д. 522].

Одновременно у полехов в Калужской губернии и однодворческого населения Тульской губернии в конце XIX – начале XX века встречались представления о том, что леший *загрызает людей*: «лешие стали есть старика; съели, оставили только шкуру одну» (Калужская губерния, Жиздринский уезд) [1, д. 156], «лешие, щекоча человека, начинают грызть его за бока и загрызают совсем» (Тульская губерния, Чернский уезд) [16, с. 21]. В последнем рассказе *щекотка* хотя и упоминается, однако она является только первым этапом вредоносного воздействия данного персонажа, в итоге он все же *загрызает* человека.

Образ столь кровожадного лешего, зафиксированный в западной части региона, контрастирует с распространенными здесь же представлениями (в Смоленской, Калужской губерниях) о том, что в отдельных случаях леший *оказывает людям помощь*. Так, в рассказах крестьян Смоленской губернии «лешие не злы», они «оказывают помощь людям, например, помогают повалить на сани тяжелое бревно [3, д. 1690]. А у полехов Козельского уезда Калужской

губернии считалось, что леший «оказывает покровительство людям с физическими недостатками – горбатым, немым и им подобным» [Там же, д. 534].

Как показывают материалы полевых исследований начала XXI века, в Южнорусской зоне образ лешего не является в настоящее время широко распространенным. Поверья об этом персонаже не только редки, но и зачастую довольно неопределенны: «Живет кто-то в лесах, на тройках заезжают: "Кум, поехали!" – и завозят людей далеко» [4, д. 4]; «Кто-то есть, а кто его знает» [5, д. 3]; «Может и нет никого в лесу, но лучше угодить, задобрить» [5, д. 1] и т.п.

На все большую трансформацию изучаемого мифологического образа указывают характерные былички: «Я сама раз шла из клуба, в 11–12 часов, снежок прошел уже... Я иду, и кошка за мной прицепилась, серая, большая, вокруг ног вьется. Я испугалась страсть как, волосы у меня стало от головы отдирать. Ну, думаю, это непутевый, это леший [4, д. 11]»; «Говорят, вроде леший жил на прудах. Вот черт-то, он в доме жил, а леший где-то на болоте. Вот говорили вроде, не надо ночью купаться, а то леший» [5, д. 2].

Заключение. Анализ материалов, использованных в настоящем исследовании, привел к следующим наблюдениям и выводам. Древние мифологические представления в видоизмененных формах продолжали существовать в сознании и отображаться в южнорусском фольклоре не только конца XIX – начала XX века, но и значительно позже. Это непосредственно касается и рассматриваемого нами образа «хозяина» леса – лешего. В трансформированном виде они отчасти дожили и до наших дней. При этом, применительно к данным конца XIX – начала XX века, обращает на себя внимание тот факт, что изучаемый мифологический образ имеет ряд особенностей в западной и восточной частях изучаемого региона.

Так, специфичные представления о лешем в виде *туманного столба*, о его способности лешего принимать *женский образ*, реликты архаичных *фитоморфных обличей (с дубиной в руках)*, представления о его *зооморфных метаморфозах* зафиксированы в западных губерниях региона. Здесь же были распространены нарративы о своеобразной внешности лешего (*выпученные глаза*), о возможной его локализации в *полях*, способности вступать в *любовные связи с женщинами, загрызть людей*, а также о лешем, *вредящем хозяйству и покровительствующем людям*. В восточной же части изучаемой зоны каких-либо ярко выраженных специфичных черт мифологических представлений об этом персонаже не зафиксировано, отметим только соответствующий одной из его функций (*щекотка*) мифоним *щекотунчик*, применяемый здесь для обозначения лешего.

Такая специфика могла быть обусловлена чрезвычайно сложной историей заселения Южнорусского региона, когда при освоении Дикого Поля переселенцы из более северных районов страны привносили, помимо прочего, особенности мифологии [21, 22]. Отметим, например, что сюжеты о связи лешего с обычной женщиной были известны на Русском Севере. В частности, в Архангельской губернии зафиксировано: «один леший влюбился в бабу и от любви так измаялся, что не мог делать ничего и женился на ней» [Цит. по: 6, с. 319]. То же касается и фитоморфных обличей данного персонажа: в пределах

изучаемой зоны они были характерны лишь для западной части региона, зато почти повсеместно встречаются у севернорусского населения [17, с. 359].

На формирование своеобразных особенностей рассматриваемого образа, по всей видимости, повлияло и этническое окружение. Так, по мнению В.И. Дынина, «поверья о леших-людоедах сближаются с верованиями украинцев Подольской губернии о голых и косматых "лесных людях", которые едят все, даже людей» [12, с. 104]. А нарративы о лешем, щекочущем людей, сближают его с особым персонажем «Средневожского» варианта русской мифологии (распространен на территории, находящейся в непосредственной близости к указанному ареалу изучаемой зоны) – *щекотуном* [13, с.146].

Данные начала XX века показывают, что образ лешего, будучи противоречивым и ранее, сохранился в современных южнорусских мифологических нарративах лишь в остаточном, иногда до неузнаваемости трансформированном виде. Нам представляется важным дальнейшее изучение особенностей мифологической традиции русского народа, поскольку именно в мифологических воззрениях проявляется символика сакрального, которая составляет важнейшую мировоззренческую основу как традиционной, так и современной культуры. Изучение этой символики, в свою очередь, может способствовать реконструкции мифологической «картины мира» наших предков, пониманию сути мировосприятия народа на протяжении длительного исторического времени.

Список литературы

1. Архив Института этнологии и антропологии Российской Академии Наук. Фонд Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. Дела. 50, 145, 150, 151, 156.
2. Архив Русского географического общества. Разряды 15, 19, 28, 33, 36, 40.
3. Архив Российского этнографического музея. Фонд. 7. Опись 1. Дела 493, 1341, 1343, 1651.
4. Архив учебно-научной лаборатории Этнография Центрально-Черноземных областей России ВГУ Дела 4, 7, 11.
5. Полевые материалы автора. Дела 1, 2, 3.
6. Виноградова, Л. Н. Народная демонология и мифо-ритуальная традиция славян / Л. Н. Виноградова. – М. : Индрик, 2000. – 432 с.
7. Власова, И. В. Историко-культурные зоны России / И. В. Власова // Русские : [сб. науч. ст. Рос. акад. наук]. – М.: Наука, 1999. – С. 107–108.
8. Власова, М. Н. Новая АБЕВЕГА русских суеверий : иллюстрированный словарь / М. Н. Власова. – СПб. : Северо-Запад, 1995. – 223 с.
9. Даль В. И. О поверьях, суевериях и предрассудках русского народа / В. И. Даль. – СПб. : Литера, 1996. – 148 с.
10. Даль, В. И. Толковый словарь живого великорусского языка / В. И. Даль : в 4 т. – СПб. ; М. : Изд-во М. О. Вольфа, 1880. – 4 т.

11. Добровольский, В. Н. Нечистая сила в народных верованиях : по данным Смоленской губернии / В. Н. Добровольский // Живая старина. – 1908. – Вып. 1. – С. 3–16.
12. Дынин, В. И. Когда расцветает папоротник : народные верования и обряды южнорусского крестьянства XIX – XX веков / В. И. Дынин. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1999. – 223 с.
13. Дынин, В. И. Народные верования русских Европейской части России XIX–XX веков : сравнительно-географическое исследование / В. И. Дынин. – Воронеж : Истоки, 2004. – 228 с.
14. Зеленин, Д. К. Описание рукописей Ученого архива Императорского Русского Географического общества : в 3 вып. / Д. К. Зеленин. – Пг. : Изд-е Рус. Геогр. Об-ва, 1914-1916. – 3 вып.
15. Зеленин, Д. К. Истокование пережиточных религиозных обрядов / Д. К. Зеленин // Советская этнография, 1934. – № 5. – С. 3–16.
16. Колчин, А. Верования крестьян Тульской губернии / А. Колчин // Этнографическое обозрение. – 1899. – № 3. – С. 1–60.
17. Криничная, Н. А. Русская народная мифологическая проза : истоки и полисемантизм образов : в 3 т. / Н. А. Криничная. – Т. 1. Былички, бывальщины, легенды, поверья о духах-«хозяевах». – СПб. : Наука, 2001. – 584 с.
18. Сахаров, И. П. Сказания русского народа о семейной жизни своих предков : в 2-х ч. / И. П. Сахаров. – СПб. : Тип. И. П. Сахарова, 1849. – 2 ч.
19. Соколов, Ю. М. Русский фольклор / Ю. М. Соколов. – М. : Учпедгиз, 1938. – 559 с.
20. Титова, О.Ю. К вопросу об этнокультурных особенностях южнорусского населения // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Духовно-нравственное образование и патриотическое воспитание: традиции и перспективы» (20 апреля 2023 г., ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова). – С 149–154.
21. Титова, О. Ю. К проблеме формирования групп русских в Воронежском крае / О. Ю. Титова // Этнографическое обозрение. – 2010. – № 2. – С. 41–55.
22. Титова, О. Ю. Локальные группы русского населения южнорусской этнографической зоны / О. Ю. Титова // Берегиня : 777 : Сова. – 2013. – № 1. – С. 6–14.
23. Токарев, С. А. Религиозные верования восточнославянских народов XIX – начала XX в. / С. А. Токарев. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. – 164 с.
24. Ушаков, Д. Н. Материалы по народным верованиям великорусов / Д. Н. Ушаков // Этнографическое обозрение. – 1896. – № 2–3. – С. 146–204.
25. Этнография восточных славян: очерки традиционной культуры / отв. ред. К. В. Чистов. – М. : Наука, 1987. – 556 с.

References

1. Archive of the Institute of Ethnology and Anthropology of the Russian Academy of Sciences. Foundation of the Society of Lovers of Natural Science, Anthropology and Ethnography. Cases. 50, 145, 150, 151, 156.

2. Archive of the Russian Geographical Society. Categories 15, 19, 28, 33, 36, 40.
3. Archive of the Russian Ethnographic Museum. Fund. 7. Inventory 1. Cases 493, 1341, 1343, 1651.
4. Archive of the educational and scientific laboratory Ethnography of the Central Chernozem Regions of Russia VSU. Cases 4, 7, 11.
5. Field materials of the author. Cases 1, 2, 3.
6. Vinogradova, L. N. Folk demonology and mytho-ritual tradition of the Slavs / L. N. Vinogradova. – M. : Indrik, 2000. – 432 p.
7. Vlasova, I. V. Historical and cultural zones of Russia / I. V. Vlasova // *Russkie* : [collection of scientific articles of the Russian Academy of Sciences]. – M.: Nauka, 1999. – pp. 107-108.
8. Vlasova, M. N. The New ABEVEGA of Russian superstitions: an illustrated dictionary / M. N. Vlasova. – St. Petersburg: North-West, 1995. – 223 p.
9. Dal V. I. About beliefs, superstitions and prejudices of the Russian people / V. I. Dal. – St. Petersburg : Litera, 1996. – 148 p.
10. Dal, V. I. Explanatory dictionary of the living Great Russian language / V. I. Dal : in 4 vols. – St. Petersburg. ; M. : Publishing House of M. O. Wolf, 1880. – 4 vols.
11. Dobrovolsky, V. N. The evil spirit in folk beliefs: according to the Smolensk province / V. N. Dobrovolsky // *Zhivaya starina*. – 1908. – Issue 1. – pp. 3-16.
12. Dynin, V. I. When the fern blooms: folk beliefs and rituals of the South Russian peasantry of the XIX – XX centuries / V. I. Dynin. – Voronezh : Publishing House of Voronezh State University, 1999. – 223 p.
13. Dynin, V. I. Folk beliefs of Russians of the European part of Russia of the XIX–XX centuries: a comparative geographical study / V. I. Dynin. – Voronezh : Istoki, 2004. – 228 p.
14. Zelenin, D.K. Description of the manuscripts of the Scientific Archive of the Imperial Russian Geographical Society: in issue 3 / D. K. Zelenin. – Pg. : Ed. *Rus. Geogr. Ob-va*, 1914-1916. – 3 vol.
15. Zelenin, D. K. Interpretation of surviving religious rites / D. K. Zelenin // *Soviet Ethnography*, 1934. – No. 5. – pp. 3-16.
16. Kolchin, A. Beliefs of the peasants of Tula province / A. Kolchin // *Etnograficheskoe obozrenie*. - 1899. – No. 3. – pp. 1-60.
17. Krinichnaya, N. A. Russian folk mythological prose: the origins and polysemantism of images : in 3 vols. / N. A. Krinichnaya. – Vol. 1. Bylichki, byvalschiny, legends, beliefs about spirits-"masters". – St. Petersburg : Nauka, 2001. – 584 p.
18. Sakharov, I. P. The tales of the Russian people about the family life of their ancestors: in 2 hours / I. P. Sakharov. – St. Petersburg : I. P. Sakharov Type, 1849. – 2 h.
19. Sokolov, Yu. M. Russian folklore / Yu. M. Sokolov. – M. : Uchpedgiz, 1938. – 559 p.

20. Titova, O.Yu. On the question of the ethnocultural features of the South Russian population // Materials of the All-Russian scientific and practical conference "Spiritual and moral education and patriotic education: traditions and prospects" (April 20, 2023, VGLTU named after G.F. Morozov). – From 149 – 154.
21. Titova O. Yu. On the problem of the formation of groups of Russians in the Voronezh region // Etnograficheskoe obozrenie. - 2010. – No. 2. – pp. 41-55.
22. Titova O. Yu. Local groups of the Russian population of the South Russian ethnographic zone // Bereginya : 777 : Sova. – 2013. – № 1. – pp. 6-14.
23. Tokarev, S. A. Religious beliefs of the East Slavic peoples of the XIX – early XX century / S. A. Tokarev. – M.; L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957. – 164 p.
24. Ushakov, D. N. Materials on the folk beliefs of the Great Russians / D. N. Ushakov // Etnograficheskoe obozrenie. - 1896. – No. 2-3. – pp. 146-204.
25. Ethnography of the Eastern Slavs: essays on traditional culture / ed. by K. V. Chistov. – M. : Nauka, 1987. – 556 p.

Научное издание

**ОХРАНА, ИННОВАЦИОННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УСТОЙЧИВОЕ
УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ. FORESTRY – 2023**

Материалы Международного лесного форума

Воронеж, 13 октября 2023 г.

Ответственный редактор Н.В. Яковенко

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 15.11.2023. Объем данных 33,8 Мб
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8