

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

материалы
IX международной молодежной
научно-практической конференции

13 -14 ноября 2025 г.



Санкт-Петербург

2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.М. КИРОВА”

*Студенческое научное общество
и Совет молодых учёных*

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА



Материалы IX международной молодежной
научно-практической конференции
13–14 ноября 2025 года

The actual issues of forestry
International youth scientific-practical
conference November 13–14, 2025



Санкт-Петербург

2025

УДК 630

Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы IX междунар. молодежн. науч.- практ. конф., 13–14 ноября 2025 г. /под ред. В.С. Павлова СПбГЛТУ, – Санкт-Петербург: – СПбГЛТУ, 2025. – 109 с.

The actual issues of forestry: International youth scientific-practical conference, November 13–14, 2025. St. Petersburg State Forest Technical University, SPb.: SPbSFTU. 2025, 109 p.

Рассмотрено и рекомендовано к изданию оргкомитетом конференции
24 ноября 2025 г.

Оргкомитет конференции:

Бойцов А.К., ст. преподаватель
Зимирева В.С., студент,
Колмогорова С.С., кандидат технических наук,
Михалова А.Е., кандидат экономических наук,
Шайтарова О.Е., кандидат экономических наук,
Чугунова Е.В., кандидат экономических наук.

Программный комитет конференции:

Варенцова Е.Ю. кандидат биологических наук,
Гедьо В.М., кандидат технических наук,
Говядин И.К., кандидат технических наук,
Данилов Д.А., доктор сельскохозяйственных наук,
Жигунов А.В., доктор сельскохозяйственных наук,
Иванов С.А., кандидат технических наук,
Павлов В.С., кандидат сельскохозяйственных наук,
Полянская О.А., кандидат экономических наук,
Потокина Е.К., доктор биологических наук,
Потокин А.Ф., кандидат биологических наук,

ISBN 978-5-9239-1556-3

СПбГЛТУ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Секция «Актуальные вопросы защиты и управления лесом»..... 6

Демчук А.С., Селиховкин А.В. СТВОЛОВЫЕ ВРЕДИТЕЛИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ИХ ЧИСЛЕННОСТИ 6

Ларкин Р.В., Кацадзе В.А., Городецкий Ю.А. АНАЛИЗ ПУСТУЮЩИХ ЗЕМЕЛЬ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БАЛАНСОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ ЦБП 10

Липкан В.Д., Миксон Д.С. ЭКСТРАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА СТЕБЛЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО 15

Филиппова В.В. ТРАНСМИССИЯ ОРНИСТОМА SP. БОЛЬШИМ СОСНОВЫМ ЛУБОЕДОМ ТОМИСUS PINIPERDA НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЗАРУБЕЖОМ 19

Секция «Продуктивность и биоразнообразие лесных экосистем» 23

Баранов Н.И., Жигунов А.В., Николаева М.А., Каканов С.В. ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА СОХРАННОСТИ И РОСТА ПОТОМСТВ ЕЛИ В 59-ЛЕТНИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ЛОМОНОСОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 23

Зимирева В.С., Бойцов А.К. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЦИКЛОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ НАСАЖДЕНИЙ *POPULUS L.* В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ НА ПРИМЕРЕ ВЫБОРГСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА 28

Иришина Е.И., Павлов В.С. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ 33

Лепилин Т.С., Егоров А.А. СОСТОЯНИЕ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА МОСКОВСКОМ ПРОСПЕКТЕ В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ 37

Чечельницкая В.А. ИНТЕНСИВНОСТЬ УКОРЕНЕНИЯ ПОБЕГОВ НИЖНЕЙ ЧАСТИ КРОНЫ *Picea x fennica* В УСЛОВИЯХ БЕРЕЗОВО-ЕЛОВО-СОСНОВОГО ЧЕРНИЧНО-ЗЕЛЕНОМОШНОГО ЛЕСА ВБЛИЗИ Ж.Д. СТАНЦИИ «КРАСНОФЛОТСКИЙ КАРЬЕР» (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ, ЛОМОНОСОВСКИЙ РАЙОН) 40

Секция «Ботаника и дендрология» 43

Доан Тхи Нга, Нешатаев В.Ю. ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ, ЛЕКАРСТВЕННЫЕ СВОЙСТВА И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЯ БА КИХ (*MORINDA OFFICINALIS* HOW.) ВО ВЬЕТНАМЕ 43

Леготин М.Е. СОСУДИСТЫЕ РАСТЕНИЯ И МОХООБРАЗНЫЕ СОСНЯКОВ ОРЛЯКОВЫХ (*PINETUM PTERIDIOSUM*), СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА ЛЕСНЫХ И ПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ (БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ) 46

Нарова Г., Уваров Р.А. АНИОННО-КАТИОННЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА 49

Чечельницкая В.А., Янишевская Е.А., Давыдов Т.А., Гунченкова А.Д., Данилкина Н.В., Деткова М.Г., Домио А.В., Иванова Д.Д., Игнатьева С.Е., Кащенко Г.А., Неволина Ю.В., Фуголь Е.С., Шумилова С.А. АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

ДРЕВОСТОЯ ПАРКА УСАДЬБЫ МОРДВИНОВЫХ (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТРОДВОРЦОВЫЙ РАЙОН)..... 53

Секция «Экономика и управление на предприятиях лесного комплекса» 58

Васильев М.А., Абрамова Д.А., Захаренкова И.А. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ АКЦИЙ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОЙ КОМПАНИИ «СЕГЕЖА ГРУПП» 58

Пугачев М.А., Захаренкова И.А. МОДЕЛЬ СОТРУДНИЧЕСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИИ И КИТАЯ: ОПЫТ КОМПАНИИ «ГРУППА «ИЛИМ» 62

Секция «Современные информационные технологии в лесном комплексе» 66

Абрамова Д.А., Васильев М.А., Хабаров С.П. РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ НА PYTHON ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ АКЦИЙ КОМПАНИИ «СЕГЕЖА ГРУПП» МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО 66

Бабилов Е.И. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ 70

Васильев М.А., Баланин Э.Н., Хабаров С.П. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 76

Еленская А.А., Колмогорова С.С. ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛОГИСТИКЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОЙ ОТРАСЛИ 79

Краснощекова Е.А. АРХИТЕКТУРА ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ НА ГРАФАХ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ PROLOG И WEB-ТЕХНОЛОГИЙ..... 82

Лубков М.К., Мокринский А.А., Бойцов А.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНТИКОЛЛИЗИОННЫХ АЛГОРИТМОВ TDMA И POLLING В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА НА БАЗЕ LORA..... 86

Маклашин Д.И., Вагизов М.Р. ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МАРШРУТОВ БАС С УЧЁТОМ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ 91

Озеров С.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. 95

Перчик Д.В., Бойцов А.К. ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЛЕСНЫХ ПЛАНТАЦИЙ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОГО ИНТЕРНЕТ-СОЕДИНЕНИЯ..... 99

Симонова Н.В., Гурьянов М.О., Савченко А.Г. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРОФИЛЕЙ СТЕБЕЛ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ..... 104

Секция «Актуальные вопросы защиты и управления лесом»

**СТВОЛОВЫЕ ВРЕДИТЕЛИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ
ТЕРРИТОРИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ИХ
ЧИСЛЕННОСТИ**

Демчук А.С., Селиховкин А.В.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

**BARK BEETLES AND WOOD BORER INSECTS OF PROTECTED NATURAL AREAS
OF ST. PETERSBURG AND POSSIBILITIES FOR CONTROLLING THEIR
POPULATION**

Demchuk A.S., Selikhovkin A.V.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. В статье рассмотрены и основные причины возникновения и развития вспышек численности стволовых вредителей некоторых ООПТ Ленинградской области.

Ключевые слова: ООПТ Ленинградской области, стволовые вредители, короеды, Ленинградская область

Abstract. The article also discusses the main causes of the occurrence and development of outbreaks of stem pests in some protected areas of the Leningrad region.

Keywords: Protected areas of the Leningrad region, stem pests, bark beetles, Leningrad region

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) – важнейшие элементы системы защиты естественных экосистем и сохранения видового разнообразия [7]. Природно-заповедный фонд Санкт-Петербурга включает 17 ООПТ площадью 9,2 тыс. га [8]. Государственные природные заказники регионального значения «Гладышевский», «Северное побережье Невской губы», «Озеро Щучье», а также памятники природы регионального значения «Комаровский берег» и «Сестрорецкое болото» находятся в лесном фонде и созданы для охраны уникальных лесных экосистем.

Высокая рекреационная нагрузка, большие ветровые нагрузки (близость Финского залива), а также техногенное загрязнение (к этим ООПТ прилегают шоссе и дороги с интенсивным движением) ухудшают состояние древостоев и приводят к снижению их устойчивости к патогенам и вредителям. Еще один негативный фактор – примыкание насаждений ООПТ к лесным массивам лесов Ленинградской области. В Ленинградской области сложилась весьма неблагоприятная обстановка с размножением и распространением стволовых вредителей [11-12]. Возникающие в этой среде вспышки массового размножения вредителей захватывают и ООПТ Санкт-Петербурга, находящиеся в лесном фонде. Эти лесные экосистемы имеют близкий породный состав и соответственно, сходные группы вредителей.

Обследование насаждений в 2022-24 гг. перечисленных выше ООПТ показало наличие очагов размножения короеда-типографа в ООПТ «Гладышевский», «Северное побережье Невской губы», «Озеро Щучье» и «Комаровский берег». Вспышка массового размножения короеда-типографа в Ленинградской области началась в 2021 г., захватив ельники этих ООПТ (рис. 1). В ходе лесопатологических обследований были выявлены все деревья, заселённые в 2021-23 гг. В 2023 г. вспышка закончилась и в 2024 г. даже единичные деревья, заселённые короедом-типографом не были отмечены. Кроме короеда типографа, в 2022 и 2023 гг. отмечалась высокая активность большого елового

большого елового полиграфа *Polygraphus punctifrons* (Thomson, 1886) и пушистого полиграфа *Polygraphus poligraphus* (Linnaeus, 1758), а также короеда-гравёра *Pityogenes chalcographus* (Linnaeus, 1760) [13].

Повторение подобной ситуации не только возможно, но и неизбежно в сложившейся ситуации, обусловленной действующей нормативно-правовой базой, регулирующей проведение санитарно-оздоровительных мероприятий в лесном фонде России. Проведение лесопатологических обследований и назначение санитарно-оздоровительных мероприятий регулируется рядом документов [2-6].



Рисунок 1. А). Очаг короеда-типографа *Ips typographus* в ООПТ «Озеро Щучье» [13]; Б). Ветровал, ель, «Комаровский берег» (фото А.В. Селиховкина, 2024 г.)

Введение и строгое соблюдение этих документов привело к нескольким негативным последствиям:

- неправильной оценке состояния деревьев и присвоения завышенной категории состояния деревьям, заселённым стволовыми вредителями;
- резкому увеличению интервала от момента обнаружения очага размножения вредителей до проведения санитарно-оздоровительных мероприятий;
- резкому удорожанию процедуры лесопатологического обследования (ЛПО), назначения и проведения СОМ;
- невозможности проведения инициативных лесозащитных мероприятий без предварительного проведения всех предписанных процедур.

В итоге, санитарные рубки проводятся в лучшем случае через год после появления вредителей, ставших причиной гибели древостоя. Таким образом, проводится уборка старого сухостоя, не представляющего опасность как источник возможного размножения вредителей. Более того, сами рубки такого рода становятся дополнительным негативным фактором, способствующим ослаблению древостоя [1.9-10, 13].

Учитывая все перечисленные обстоятельства, нами были предложены ряд мероприятий, которые возможно применить, не нарушая дух и букву документов нормативной базы. Во всех случаях мероприятия были предложены для относительно небольших участков ООПТ (до 300 га). Они включали следующие мероприятия:

- мониторинг (феромонные ловушки, подерёвное обследование в период лёта);
- при повышении численности: выкладка ловчих деревьев (используются ветровальные и буреломные деревья, которые появляются ежегодно из-за сильных

ветров, рис. 1 Б), окорка свежего сухостоя без валки дерева в доступной части ствола, использование нетоксичных репеллентов для особо ценных участков насаждений и некоторые другие действия.

Осуществление этих мероприятий не требует больших затрат. Например, в некоторых случаях даже не требуется изготовление отрубков и выкладка на подкладки (рис. 1 Б). Технически их проведение возможно силами работников ООПТ и лесничества ГКУ «Курортный лесопарк». Однако дирекция ООПТ отказалась от проведения перечисленных мероприятий без проведения регламентных ЛПО, опасаясь нарушения установленной процедуры. Следует отметить, что проведение этих работ на основании полученных актов, полученных по результатам ЛПО не только бессмысленно, но и невозможно. Критерии, по которым назначаются лесозащитные мероприятия, не соответствуют биологической целесообразности.

Вопрос о том насколько правомерно проведение подобных инициативных мероприятий без проведения регламентных процедур ЛПО и назначения СОМ остаётся открытым и требует отдельного анализа.

В итоге, на территории ООПТ Санкт-Петербурга, находящихся в лесном фонде, проблема защиты древостоя от вредителей не нашла решения. Ельники ООПТ «Гладышевский», «Озеро Щучье», «Комаровский берег» находятся в ожидании следующей вспышки короеда-типографа. В 2025 г. плотность популяции короеда-типографа в Ленинградской области осталась на низком уровне из-за перехода после вспышки массового размножения динамики плотности популяции в стадию депрессии, а также крайне неблагоприятных погодных условий. Однако уже в 2027 г. резкое увеличение численности короеда-типографа вполне возможно.

Кроме короеда-типографа в ООПТ на территории лесного фонда весьма вероятно увеличение численности других стволовых вредителей ели, в особенности вышеуказанных короедов – полиграфов и короеда-гравёра, а на сосне - сосновых лубоедов, в особенности *Tomicus piniperda*. Из вредителей филофагов наибольшую потенциальную опасность представляет возможное размножение шелкопряда-монашенки *Lymantria monacha*.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 24-16-00092.

Библиографический список

1. Гниненко Ю. И. Современное состояние защиты леса – потребность в инновациях // Защита леса – инновации во имя развития. Бюл. Пост. Комиссии ВПРС МОББ по биол. защите леса. Вып. 9. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. С. 33–36.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.12.2020 № 2047 «Об утверждении правил санитарной безопасности в лесах»;
3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 05.04.2017 № 156 «Об утверждении порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга»;
4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 09.11.2020 № 910 «Об утверждении порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования»;
5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 09.11.2020 № 912 «Об утверждении правил осуществления мероприятий по предупреждению распространения вредных организмов»;
6. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 09.11.2020 № 913 «Об утверждении правил ликвидации очагов вредных организмов».

7. Пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации» М. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2015 г., 124 с.
8. Сайт государственного казенного учреждения «Дирекция особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга» <https://oopt.spb.ru/?ysclid=m5y9ff48sb214525433>
9. Селиховкин А.В. Вспышкам массового размножения короедов в лесах России быть! // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: Материалы III Всерос. конф. с междунар. участ., Москва, 11–15 апреля 2022 г. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2022. С. 124–125.
10. Селиховкин А.В. Нормативно-правовая база лесозащиты и её результативность в регуляции плотности популяций вредителей в таёжных лесах // Сибирский лесной журнал. 2023. № 1. С. 29–42
11. Селиховкин А.В., Ахматович Н.А., Варенцова Е.Ю., Поповичев Б.Г. Размножение короеда типографа и других дендропатогенных организмов на Карельском перешейке // Лесоведение. 2018а № 6. с. 426–433.
12. Селиховкин А.В., Мамаев Н.А., Мартирова М.Б., Меркурьев А.С., Поповичев Б.Г. Новая вспышка массового размножения короеда-типографа в Ленинградской области и её особенности // Энтомологическое обозрение. 2022. № 2. С. 239–251.
13. Селиховкин А.В., Мартирова М.Б., Мамаев Н.А., Мандельштам М.Ю. Стволовые вредители особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга и возможности контроля их численности. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. № 254. с.212-234.

АНАЛИЗ ПУСТУЮЩИХ ЗЕМЕЛЬ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БАЛАНСОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ ЦБП

Ларкин Р.В., Кацадзе В.А., Городецкий Ю.А.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова,

ANALYSIS OF UNUSED LANDS IN THE LENINGRAD REGION FOR SOURCING PULPWOOD FOR PULP AND PAPER INDUSTRY

Katsadze V.A., Larkin R.V., Gorodetskiy Y.A.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. В статье рассматривается проблема истощения экономически доступных лесных ресурсов в регионах с развитой лесоперерабатывающей инфраструктурой, в частности в Ленинградской области, и предлагается переход от экстенсивной к интенсивной модели лесного хозяйства. В качестве решения предлагается создание плантаций быстрорастущих лиственных пород (береза, осина, тополь) на пустующих землях. Проведен анализ таких территорий в Ленинградской области, выявлен потенциал в 1,1–1,2 млн га, систематизированный по категориям (заброшенные сельхозугодья, карьеры, торфяники) и территориальным кластерам. Наиболее перспективным признан Восточный кластер с площадью свыше 400 000 га. Обоснована экономическая целесообразность создания плантаций с коротким циклом ротации (10–15 лет) для обеспечения балансовой древесиной местных целлюлозно-бумажных комбинатов, таких как Сясьский ЦБК, что позволит снизить логистические затраты и инвестиционные риски.

Ключевые слова: Плантации, балансовая древесина, ЦБП, Ленинградская область, постагрогенные земли.

Abstract. The article addresses the problem of the depletion of economically accessible forest resources in regions with developed wood-processing infrastructure, particularly in the Leningrad Region, and proposes a transition from an extensive to an intensive forestry model. As a solution, the creation of plantations of fast-growing deciduous species (birch, aspen, poplar) on unused lands is proposed. An analysis of such territories in the Leningrad Region was conducted, revealing a potential of 1.1–1.2 million hectares, systematized by categories (abandoned agricultural lands, quarries, peatlands) and territorial clusters. The Eastern Cluster, with an area of over 400,000 hectares, was identified as the most promising. The economic feasibility of establishing plantations with a short rotation cycle (10–15 years) to supply pulpwood to local pulp and paper mills, such as the Syassky Pulp and Paper Mill, is substantiated. This approach would reduce logistics costs and investment risks.

Keywords: Plantations, Pulpwood, Pulp and Paper Industry (PPI), Leningrad Region, Post-agrogenic lands.

Мировой спрос на древесину демонстрирует устойчивую положительную динамику на протяжении последних пяти десятилетий [1-6]. За этот период общее потребление увеличилось приблизительно на 50%. Если в 1970-х годах глобальный объем заготовок достигал примерно 2.5 млрд. м³, то к 2024 году он превзошел отметку в 4 млрд. м³. Примечательно, что даже активное внедрение переработки макулатуры и цифровых технологий не остановило рост использования балансовой древесины, объемы которой за полвека удвоились. На сегодняшний день ее доля в общемировом

потреблении древесины составляет около 25%, а ежегодный объем заготовок превысил 1 млрд. м³.

Сложившаяся в российском лесопромышленном комплексе модель характеризуется экстенсивным подходом, ведущим к истощению экономически рентабельных лесных ресурсов. В регионах с развитой перерабатывающей инфраструктурой – близ ЦБК и деревоперерабатывающих заводов – объемы доступной древесины заметно сокращаются. Это вынуждает компании наращивать логистические плечи, что негативно сказывается на себестоимости продукции.

Решением данной проблемы видится перевод отрасли на интенсивные рельсы. Данная модель ведения лесного хозяйства предполагает целенаправленное выращивание древесных пород, обладающих высокой экономической и экологической ценностью, что определяет структуру и состав лесных массивов. Ключевым элементом такого перехода является создание специализированных плантаций, обеспечивающих ускоренное получение древесины с заранее заданными свойствами.

Россия существенно отстает от мировых лидеров в области плантационного лесовыращивания. На текущий момент общая площадь таких плантаций в стране не превышает 40 тысяч гектар. Для контекста: согласно оценкам Глобальной оценки лесных ресурсов (ФАО, 2020), в мировом масштабе этот показатель достигает 130 млн. гектар. Лидером является Китай, где на плантации площадью приблизительно 45 млн. га приходится почти половина всего объема заготавливаемой древесины. Значительные площади плантационных лесов также созданы в США (около 18 млн. га), Индии (10 – 12 млн. га) и Бразилии (порядка 8 млн. га). В таких государствах, как Новая Зеландия и ЮАР, плантационные леса стали практически единственным источником древесного сырья.

В качестве стратегии для обеспечения растущих потребностей экономики в древесине предлагается организовать в Ленинградской области специализированные плантации быстрорастущих лиственных пород. Основной целью этих плантаций будет производство балансовой древесины. Наиболее рациональным представляется использование для этих целей земель, не входящих в Лесной фонд и не задействованных в экономике. К таким территориям относятся заброшенные сельскохозяйственные угодья (постагrogenные земли), а также участки, подлежащие рекультивации, например, отработанные карьеры.

Анализ территорий Ленинградской области показывает, что на ее территории расположен большой запас пустующих земель. В целях выявления участков, пригодных для создания плантационных насаждений, проводится их систематизация по следующим категориям: заброшенные сельскохозяйственные угодья (постагrogenные земли), отработанные карьеры и торфяные месторождения, нуждающиеся в рекультивации, а также прочие категории неиспользуемых территорий, к которым относятся бывшие промышленные зоны и заброшенные населенные пункты.

Наиболее часто встречающейся категорией неиспользуемых земель в Ленинградской области являются заброшенные сельскохозяйственные угодья. Площадь региона составляет примерно 8,39 млн га (83,9 тыс. кв. км). Согласно сведениям Росреестра на 2022 год, земли сельскохозяйственного назначения здесь занимают порядка 1,65 млн га, или около 19% от общей территории.

Основная сложность в точной оценке масштабов проблемы заключается в отсутствии единого официального учета неиспользуемых земель и постоянном изменении их статуса. Однако, по различным экспертным оценкам, доля заброшенных пахотных земель и сенокосов в области достигает 40-60% от их исторического фонда.

Таким образом, речь идет о сотнях тысяч гектар. Если принять усредненный показатель в 50%, то площадь таких земель составит $1,65 \text{ млн га} \times 0,5 = 825 \text{ тыс. га}$. Эта огромная территория сопоставима по размерам, например, с площадью Кипра.

Наибольшая концентрация простаивающих территорий наблюдается в восточных и юго-восточных муниципальных районах, таких как Бокситогорский, Тихвинский, Киришский, Лодейнопольский, Подпорожский и Волховский. В то же время западные и южные районы (Гатчинский, Ломоносовский, Всеволожский) испытывают более сильное влияние мегаполиса, что способствует вовлечению земель в хозяйственный оборот или их переводу для иных целей.

Длительный период отсутствия сельскохозяйственного использования на многих угодьях привел к значительной деградации почвенного покрова и повсеместному зарастанию кустарником. Текущее состояние этих земель делает экономически нецелесообразными проекты по их рекультивации и возвращению в сельскохозяйственное производство.

Значительная минерально-сырьевая база Ленинградской области обусловила формирование многочисленных горных выработок. На территории региона повсеместно распространены карьеры по добыче глины и песка, с наибольшей концентрацией вблизи крупных населенных пунктов (Всеволожский, Гатчинский районы). Бокситовые месторождения разрабатываются преимущественно в Волховском, Тихвинском и Бокситогорском районах, тогда как торфяные месторождения сосредоточены в Выборгском, Ломоносовском и Кировском районах.

Для наглядности сведем оценочные площади по категориям в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

Сводная таблица пустующих площадей

Категория пустующих земель	Оценочная площадь (га)	Доля от общей площади области
Заброшенные сельхоз угодья	800 000 – 850 000	9,5 – 10,1%
Карьеры и торфяники	320 000 – 335 000	3,8 – 4,0%
Брошенные промзоны	2000 – 5000	0,03 – 0,06%
Брошенные деревни	10000 – 20000	0,12 – 0,24%
Итого	1 132 000 – 1 210 000	13,5 – 14,4%

На основе проведенного анализа все неиспользуемые территории можно систематизировать, выделив три ключевых территориальных кластера: восточный, центральный и западный (табл. 2).

Таблица 2

Сводная таблица крупнейших кластеров

Условное название кластера	Районы	Преобладающий тип пустующих земель	Примерная площадь, га
Восточный	Тихвинский, Бокситогорский	Заброшенные сельхоз угодья, карьеры	> 400 000
Центральный	Киришский, Волховский	Заброшенные сельхоз угодья, торфяники	250 000
Западный	Выборгский, Ломоносовский	Торфяники	150 000

Наиболее перспективным для создания плантационных насаждений в Ленинградской области, без учета фактора близости потребителей, представляется Восточный кластер (Тихвинский, Бокситогорский, Подпорожский, Лодейнопольский и частично Киришский районы). Данный массив, занимающий площадь свыше 400 000 га, является крупнейшим в регионе и состоит преимущественно из бывших сельскохозяйственных угодий. Центральный кластер также обладает значительными перспективами, поскольку объединяет не только постагrogenные земли, но и выработанные торфяники.

На сегодняшний день ключевым фактором экономической эффективности создания плантационных насаждений на пустующих землях является их транспортная доступность для потребителей.

Одним из крупнейших потребителей балансовой древесины в Ленинградской области является Сясьский ЦБК, расположенный в городе Сясьстрой. Предприятие потребляет до 1 млн. м³ древесины в год, из них до 300 тыс. м³ лиственных пород. ЦБК расположен в Волховском районе ЛО, и находится в непосредственной близости к Центральному и Восточному кластерам.

В российской практике плантационного лесовыращивания традиционно доминируют хвойные породы – ель и сосна, которые культивируются для производства балансовой древесины и пиловочника. Однако такие насаждения характеризуются продолжительным циклом роста, достигающим 45–50 лет до спелости, с необходимостью проведения прореживающих мероприятий на 25–30 году.

С учетом климатических особенностей региона, наиболее перспективным представляется ориентирование на искусственно выведенные быстрорастущие лиственные породы, оборот рубок которых будет находиться в пределах 10–15 лет. Например, СПБНИИЛХ осуществляет научные изыскания в области геномной селекции древесных культур, направленные на создание улучшенных генотипов с ускоренным приростом биомассы, повышенной устойчивостью к патогенам, вредоносным организмам и стрессовым факторам окружающей среды. Наиболее подходящими лиственными породами для плантаций в ЛО являются береза повислая (*Betula pendula*), осина и тополь (*Populus spp.*).

Короткий цикл ротации таких насаждений значительно снижает инвестиционные риски и ускоряет окупаемость. Устойчивый спрос со стороны ЦБК на данный вид сырья сохраняется и имеет тенденцию к росту в перспективе. Дополнительным фактором

рентабельности является истощение экономически доступных лесных ресурсов в Северо-Западном регионе, что создает предпосылки для значительного роста цен на балансовую древесину в будущем.

Библиографический список

1. Количественные и качественные характеристики надземной фитомассы плантационных культур ели и сосны в Ленинградской области / Д.С. Тюрин. – Санкт-Петербург, 2024. – 232 с.
2. Лесные генетические ресурсы России: изучение, сохранение, использование, управление: коллективная монография в 2-х кн. [Электронный ресурс] / Отв. ред. М.М. Паленова. – Книга 1. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2024. – 546 с.
3. Лесопромышленная логистика на постагrogenных землях / Яшуш С.Ю., Данилов Д.А.
4. Мерзость запустения: в Ленинградской области утрачено более трети сельхозземель // URL: <https://newizv.ru/news/2019-11-25/merzost-zapusteniya-v-leningradskoy-oblasti-utracheno-bolee-treti-selhozzemel-298276>
5. Особенности формирования древостоев на сельскохозяйственных землях, вышедших из активного пользования / Януш С.Ю. – Санкт-Петербург, 2020. – 231 с.
6. Промышленные лесосырьевые плантации – будущее лесной промышленности России // URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4001>

ЭКСТРАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА СТЕБЛЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

Липкан В.Д., Миксон Д.С.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

EXTRACTIVE SUBSTANCES FROM THE STEMS OF SOSNOVSKY'S HOGWEED

Lipkan V.D., Mikson D.S.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. В работе представлены результаты по химическому составу и содержанию экстрактивных веществ стеблей борщевика Сосновского. Установлено, что при наработке экстрактивных веществ было получено: ПЭ-экстракт – 0,88% от сух.сырья и 23,2% от ИП-экстракта, МТБЭ-экстракта – 0,85 % от сух.сырья и 22,3% от ИП-экстракта. Методом ГХ-МС определен состав полярной группы веществ, извлекаемых МТБЭ. Основные компоненты – фурукумарины и фенольные соединения в виде монолигнолов. Доминирующие соединения группы фуранокумаринов – изопимпинеллин (15,75% от МТБЭ-экстракта) и его изомер пимпинеллин (8,05%), метоксален (12,45%), бергаптен (7,22%) и псорален (4,00%). Монолигнолы представлены ванилином (6,74%), феруловой кислотой (2,37) и сиреневым альдегидом (2,74%).

Ключевые слова: борщевик Сосновского, экстрактивные вещества, фенольные соединения, фурукумарины, целлюлоза, лигнин.

Abstract. The results of the chemical composition and extractive substances composition are described from the stems of hogweed . The content of extractive substances was PE extract – 0.88% of the dry raw materials and 23.2% of the IP extract, MTBE extract – 0.85% of the dry raw materials and 22.3% of the IP extract. The composition of the polar group of substances extracted by MTBE was determined by GC-MS. The main components are furocoumarins and phenolic compounds (monolignols). The dominant compounds of the furocoumarin group are isopimpinellin (15.75% of the MTBE extract) and its isomer pimpinellin (8.05%), methoxalene (12.45%), bergapten (7.22%), and psoralen (4.00%). Monolignols are represented by vanillin (6.74%), ferulic acid (2.37%), and syringic aldehyde (2.74%).

Keywords: Sosnowsky's hogweed, extractive substances, phenolic compounds, furocoumarins, cellulose, lignin

Борщевик Сосновского (лат. *Heracleum sosnowskyi*) — крупное травянистое растение, вид рода Борщевик (*Heracleum*) семейства Зонтичные (*Umbelliferae*) [3]. В СССР ботаники исследовали растение и пришли к выводу, что оно обладает морозостойкостью, неприхотливостью и огромной урожайностью. В связи с этим было принято решение использовать борщевик для увеличения кормовой базы для животноводства после последствий Великой Отечественной войны как корм скоту. Вплоть до 1970-х годов борщевик Сосновского массово сеяли и возделывали. Позднее выяснилось, что борщевик Сосновского – это агрессивное инвазивное растение. Во-первых, борщевик начал дичать и неконтролируемо распространяться в соседние экосистемы, вытесняя другие растения, встречающиеся на его пути. Одно растение борщевика Сосновского давало 15–100 тыс. семян с прекрасной всхожестью. При этом заросли борщевика создавали плотную тень, вытягивали из почвы всю воду. Во-вторых, молоко коров, которых кормили борщевиком, имело неприятный привкус, а потомство

животных, питавшихся растением, рождалось с генными мутациями. При контакте с соком борщевика на теле человека проявлялись сильные ожоги [1, 8].

В 2012 году в России сорт борщевика Сосновского "Северянин" был признан "утратившим хозяйственную полезность" и исключён из госреестра достижений селекционеров. В 2014 году коды продукции борщевика Сосновского — зелёной массы и семян — исключены из Общероссийского классификатора продукции. В 2015 году борщевик утратил статус сельскохозяйственной культуры. Его признали вредным и опасным и внесли в "Отраслевой классификатор сорных растений Российской Федерации". С 2019 года за его разведение начали вводить штрафы. В Ленинградской области только в 2025 году было выделено 45 млн рублей на борьбу с борщевиком, в 2026 году эту сумму планируют удвоить. Однако, несмотря на все меры и финансирование значительных успехов достичь не удастся.

В литературе имеются данные по составу экстрактивных веществ из биомассы борщевика Сосновского [6, 7, 9], но не единой фундаментальной базы по химическому составу и составу соединений отдельных групп веществ, что существенно затрудняет его переработку и борьбу с ним.

Цель исследования — изучить химический состав и полярную группу экстрактивных веществ стеблей борщевика Сосновского

Методическая часть. Борщевик Сосновского был отобран в Ленинградской области (Екатериновка) в октябре 2023г. Сырьё было разделено на отдельные части — стебли, листья, корни и соцветия. Перед проведением анализов сырьё измельчали на лабораторной мельнице «Вилитек» до размера фракции 1-2 мм. Влажность определяли на автоматическом влагомере фирмы «Шимадзу», целлюлозу — азотно-спиртовым методом по Кюршнеру [5], лигнин — с 72% серной кислотой в модификации Комарова [5], пентозаны — бромид-броматным методом, легкогидролизуемые полисахариды с определением РВ по методу Макэна-Шоорля [5], зольность — сжиганием в муфельной печи [5]. Определение содержания экстрактивных веществ (ЭВ) проводили методом экстракции в аппарате Сокслета, объемом 50 мл [4, 5] органическими растворителями — петролейный эфир (40-70⁰С, ПЭ), метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ), этиацетат (ЭА) и пропан-2-ол(ИПС). Для наработки ЭВ использовали также метод экстрагирования в аппарате Сокслета, но объемом 1 л, модуль экстракции 1:2,5, время экстракции — 8 ч с момента закипания растворителя, экстрагент — ИПС. Из полученного ИП-экстракта отбирали аликвотную пробу (20мл), выпаривали на песчаной бане и рассчитывали массу ЭВ. Из ИП-экстракта на роторном испарителе отгоняли на $\frac{3}{4}$ ИП, остаток оводняли. Далее оводненный экстракт последовательно исчерпывающе экстрагировали ПЭ, МТБЭ и ЭА. Экстрактивные вещества, растворимые в МТБЭ, анализировали методом ГХ-МС [4].

Экспериментальная часть. Влажность исходного сырья — 8,5%. Химический состав представлен в табл. 1. По содержанию целлюлозы и лигнина стебли борщевика близки к древесине [5], отмечается высокая доля минеральных веществ — 6,7% от массы сух.сырья. Содержание ЭВ в целом невысокое от 0,8 до 2,7% при использовании различных экстрагентов.

Таблица 1.

Химический состав стеблей борщевика Сосновского

Показатель	Содержание, % от сух. сырья
Минеральные вещества	6,7
Целлюлоза	41,5
Лигнин	21,0
Пентозаны	8,8
ЛГП	15,6
Вещества, экстрагируемые:	
ПЭ (40-70 ⁰ С)	0,8
МТБЭ	2,1
ЭА	1,3
ИПС	2,7

При наработке экстрактивных веществ было получено: ПЭ-экстракт – 0,88% от сух.сырья и 23,2% от ИП-экстракта, МТБЭ-экстракта – 0,85% от сух.сырья и 22,3% от ИП-экстракта. По данным ТСХ ПЭ-экстракт состоял из неполярных соединений – терпеноидов, МТБЭ-экстракт – из полярной группы (фенольные соединения и фуранокумарины), а в ЭА-экстракте содержится 2 группы соединений, различающихся по полярности – это полярная группа как в МТБЭ-экстракте, и пятно ниже, вероятно, фенольные соединения в гликозидированной форме.

Компонентный состав веществ (табл. 2), (рис. 1), растворимых в МТБЭ, устанавливали методом ГХ-МС с программированием температуры от 100⁰С до 280 ⁰С со скоростью нагрева 5⁰С в минуту, газ носитель – гелий.

Таблица 2

Состав МТБЭ-экстракта стеблей борщевика Сосновского

Компонент	Содержание, % от МТБЭ-экстракта
Ванилин (1)	6,74
Сиреневый альдегид (2)	2,74
Ангелицин (3)	3,10
Феруловая кислота (4)	2,37
Метоксален (5)	12,45
Бергаптен	7,22
Пимпинеллин (6)	8,05
Изопимпинеллин	15,75
Псорален	4,00

Бергаптен является производным псоралена, родительского соединения целого семейства природных органических соединений, известных как линейные фуранокумарины [11]. Некоторые из них, включая бергаптен, действуют как сильные фотосенсибилизаторы при местном нанесении на кожу. Бергаптен также считается потенциальным средством профилактики рака кожи, вызванного солнечным светом. Кроме этого, бергаптен, метаксален и изопимпинеллин являются основными действующими веществами препарата Аммифурин, который применяется при таких заболеваниях как витилиго, гнездная и тотальная алопеция, грибковидный микоз, псориаз [2, 10].

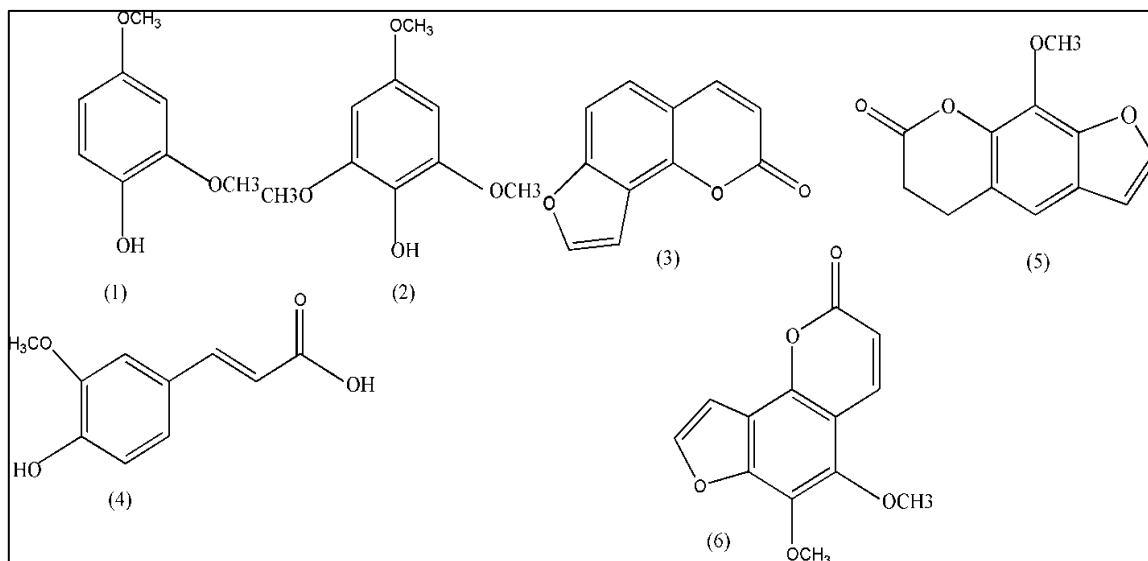


Рисунок 1. Компоненты экстракта стеблей борщевика Сосновского

Библиографический список

1. Вавилов П.П., Кондратьев А.А. Новые кормовые культуры. М., 1975. 340 с
2. Гриффин А.С. Метоксален в ультрафиолетовом канцерогенезе у мышей. J Invest Dermatol. 1959; 32 :367–372
3. Ламан, Н.А. Гигантские борщевики – опасные инвазивные виды для природных комплексов и населения Беларуси / Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров, О. М. Масловский. – Минск: Ин-т эксперимент. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, 2009. – 40 с
4. Миксон Д. С., Рошин В. И. Групповой состав и кислоты хвои лиственницы сибирской разного периода вегетации // Химия растительного сырья, 2019. № 4. С. 207-214.
5. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. С. 75–164.
6. Пименов М.Г. Перечень растений – источников кумариновых соединений. Л., Наука. 1971. 200 с.
7. Репнин А.Ф., Рошин В.И. Сравнение компонентного состава фенольных соединений корней борщевика Сосновского осеннего и летнего сборов. Леса России: политика, промышленность, наука, образование. материалы VI Всерос. науч.-технич. конф., Санкт-Петербург, 26–28 мая 2021 г. – Санкт-Петербург: С.-Петерб. гос. лесотехнич. ун-т им. С. М. Кирова, 2021. – Т. 2. – С. 112–114.
8. Ткаченко К.Г. Особенности цветения и семенная продуктивность некоторых видов *Heracleum* L., выращенных в Ленинградской области. // Растит. ресурсы, 1989, т. 25, вып. I, с. 52–61.
9. Ткаченко, К.Г. Эфирные масла плодов *Heracleum ponticum* (Lipsky) Schischk и *Heracleum sosnowskyi* Manden. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки. – 2010. – № 3, вып. 10. – С. 23–27.
10. Ханнуksела-Сван А., Пуккала Э., Ляэря Э. и др. Псориаз, его лечение и рак у когорты финских пациентов. Джей Инвест Дерматол. 2000 г.; 114 : 587–590.
11. De Amicis, Francesca (2015). “Bergapten drives autophagy through the up-regulation of PTEN expression in breast cancer cells”. MolecularCancer. 14. DOI:10.1186/s12943-015-04034.

**ТРАНСМИССИЯ OPHIOSTOMA SP. БОЛЬШИМ СОСНОВЫМ ЛУБОЕДОМ
TOMICUS PINIPERDA НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И
ЗАРУБЕЖОМ**

Филиппова В.В.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова,

**TRANSMISSION OF OPHIOSTOMA SP. BY THE LARGE PINE BAST BEETLE
TOMICUS PINIPERDA IN THE NORTH-WEST OF THE RUSSIAN FEDERATION AND
ABROAD**

Filippova V.V.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. В данной статье представлены данные о трансмиссии *Ophiostoma* sp. большим сосновым лубоедом *Tomicus piniperda* на территории северо-запада Российской Федерации и зарубежом.

Ключевые слова: *Ophiostoma* sp., *Tomicus piniperda*, трансмиссия, взаимосвязь, фитопатогенные грибы.

Abstract. This article presents data on the transmission of *Ophiostoma* sp. large pine bast beetle *Tomicus piniperda* in the north-west of the Russian Federation and abroad.

Keywords: *Ophiostoma* sp., *Tomicus piniperda*, transmission, relationship, phytopathogenic fungi.

Исследование взаимосвязей насекомых и грибов представляет большой научный и практический интерес. В ряде научных работ отмечается наличие тесных трофических и трансмиссионных связей между фитопатогенными грибами и короедами [4, 8, 16].

В ряде работ приводится утверждение, что трансмиссия короедами фитопатогенных грибов приводит к возникновению эпифитотий и вспышек массового размножения стволовых вредителей, прежде всего короедов [2-5, 8, 11, 12, 15].

В Канаде, США и ряде других европейских стран со второй половины XX века наблюдается большой интерес к офиостомовым грибам, которые могут обитать на хвойных породах. Изучалась их экология, биология, филогения, а также свойства патогена, представляющие опасность для растений. Исследования в этой области привели к обнаружению факта, что фитопатогенное значение таких грибов может возрастать, если они связаны с агрессивными видами насекомых, а именно ксилофагами, способными нападать на живые деревья. Когда насекомые заносят эти фитопатогены в проводящие ткани хвойных растений, происходит активное распространение их по флоэме и заболони, что приводит к увеличению размеров поврежденных насекомыми участков сосудистой ткани. При этом нарушается транспорт воды и питательных веществ по стволу, что способствует быстрому усыханию и гибели растения-хозяина [13]. Такие явления были отмечены в странах Западной и Восточной Европы, в Японии и Китае, в США.

Исследования в данном направлении проводились на территории Красноярского края и Республики Хакасия в местах, где локализовались разреженные популяции или вспышки численности ксилофагов Н. В. Пашеновым [1]. Изучались те грибы, которые являются ассоциантами таких опасных вредителей хвойных пород в Сибири, как короед-типограф, большой сосновый лубоед, большой лиственничный короед и черный

пихтовый усач и ряд других. Исследовались как образцы в виде кусочков луба и заболони, вырезанные из стволов хвойных и содержащие различные части ходов ксилофагов, так и взрослые особи насекомых.

В ходе исследований выявлено, что перенос грибов синевы древесины в лесах Центральной Сибири характерен для всех исследованных насекомых. Частота встречаемости грибов в ходах вредителей высокая (70–100 %), однако, для вредителей сосны отмечен более низкий уровень данного показателя (33–59 %).

При проведении посевов почвенных суспензий и водных смывов с хвои, коры, подстилки, отобранных в местах обитания насекомых на питательную среду, грибы из сем. *Ophiostomataceae* и рода *Leptographium* не были обнаружены. В то время как водные смывы с поверхности отдельных частей тела взрослых жуков-короедов содержали примерно 1000–1500 пропагул офиостомовых грибов на одного жука.

В Центральной Сибири - Емельяновский район Красноярского края (1994 год) частота встречаемости грибов синевы древесины в ходах большого соснового лубоеда на сосне обыкновенной, составила 53%. В ходах большого соснового лубоеда обнаружены сумчатые грибы, вызывающие синеву древесины: *Ophiostoma minus*, *O. piliferum*, *Ceratocystiopsis minuta*.

Глубокие исследования трансмиссии грибов проведены в Польше [7], где *Tomicus piniperda* вместе со своим когенером *T. minor* входит в число основных насекомых-вредителей сосны обыкновенной. Офиостомовые грибы, включая роды *Ceratocystis*, *Ophiostoma*, *Ceratocystiopsis* и их анаморфы являются наиболее важными ассоциатами жесткокрылых насекомых.

Видовой состав и вирулентность грибов, связанных с *Tomicus piniperda*, изучены в Польше в восьми местах. Грибы, выделенные из образцов флоры и заболони, взятых из галерей насекомых были идентифицированы. Вирулентность наиболее распространённых видов офиостомовых оценена путём заражения двухлетних саженцев сосны обыкновенной. С *T. piniperda* обнаружено большое разнообразие грибов, включая 4837 культур и 67 видов, из которых наиболее важные группы - офиостомовые и плесневые грибы. Среди офиостомовых грибов преобладали *Ophiostoma minus* и *O. piceae*, которые встречались в 32,4% и 11,5% соответственно. Иногда выделяли такие виды, как *Leptographium lundbergii*, *L. procerum*, *L. wingfieldii*, *Graphium ruspoccephalum* и *Graphium* sp. 'W'. В целом, частота встречаемости офиостомоподобных видов сильно варьировалась в зависимости от места. *Leptographium wingfieldii* и *O. minus* были единственными видами, способными уничтожить целые растения, и проникали глубже в древесину, чем другие виды (87–100% гибели в течение 11-недельного инкубационного периода). Менее опасными оказались *O. piliferum*, *O. piceae* и *L. Procerum*.

Японскими учеными в префектуре Яманаси, центральный Хонсю из *Tomicus piniperda* и *T. minor* из поражённой ими японской красной сосны (*Pinus densiflora*) выделено пять видов *Ophiostoma*, два вида *Leptographium* и один вид *Graphium*. Неизвестный вид *Ophiostoma* и *O. minus* были выделены в основном из *T. piniperda* и его ходов [10].

Новый вид из комплекса *Ophiostoma piceae* был выделен из жуков-короедов и их ходов, поражающих японскую лиственницу в Японии, и был описан как *Ophiostoma sugadairense* [9].

В исследовании на территории Северной (Рованиеми) и Южной (Хьютиля) Финляндии взрослых жуков собирали на сосне обыкновенной. Мицелий был выделен и идентифицирован с помощью комбинации морфологических и молекулярных данных. Результаты показали большое разнообразие таксонов грибов, выделенных из *T.*

piniperda, — всего 3073 изолята, представляющих 20 таксономических единиц. Офиостомовые грибы обнаружены и на насекомых из Южной Финляндии — *Ophiostoma canum* и *Ophiostoma minus* [14].

Фитопатогенные грибы, связанные с *Tomicus piniperda* и *Orthotomicus erosus*, выделены также в различных сосновых лесах Туниса. *Tomicus piniperda* и его коллекции содержали *Leptographium wingfieldii*, *Ophiostoma minus* и *Ophiostoma ips*. *Ophiostoma minus* оказался наиболее распространённым видом, связанным с *T. piniperda*. Он был обнаружен в большинстве исследованных лесов, в то время как *O. ips* и *L. wingfieldii* найдены только в лесах, расположенных в Центральном и Северном Тунисе. Частота встречаемости *O. ips* в сочетании с *T. piniperda* всегда была низкой и лишь однажды достигла 11,1%. Вирулентность 16 изолятов грибов проверена путём однократного заражения *Pinus halepensis* (сосны алеппской) в двух местах. Выявлены различия между видами: *L. wingfieldii* оказался наиболее вирулентным, а *O. minus* — наименее вирулентным с точки зрения формирования зоны реакции флоры и роста гриба во флоры [6].

С 2023 по 2025 гг. Санкт-Петербургским государственным лесотехническим университетом имени С. М. Кирова, а именно кафедрой защиты леса, древесиноведения и охотоведения, проводятся исследования о трансмиссии различными видами короедов фитопатогенных грибов на территории Северо-Запада Российской Федерации (*при поддержке гранта РНФ №24–16–00092*). Ниже представлено количество собранных образцов, количество заселенных образцов *Ophiostoma* sp. и количество видов обнаруженного рода гриба.

В 2024 году на территории Лодейного поля собрано 11 образцов, 2 заселены, обнаружено 3 вида. Кемь, Карелия – собрано 9 образцов, 7 заселено, обнаружено 2 вида. Сестрорецкое болото – собрано 12 образцов, 3 заселено, обнаружен 1 вид. Молодежное лесничество, Зеленогорск – собрано 15 образцов, 3 заселено, обнаружен 1 вид.

В 2025 году: Молодежное лесничество, Зеленогорск – собрано 24 образца, 12 заселено, обнаружено 2 вида. Поселок Ушаково, Курортный район Санкт-Петербурга – собрано 20 образцов, 14 заселено, обнаружено 3 вида. Горбунсковское поселение, Ломоносовский район, Ленинградская область – собрано 20 образцов, 13 заселено, обнаружено 4 вида.

Данные исследования продолжаются, индификация видового состава грибов находится в процессе работы.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ №24–16–00092

Библиографический список

1. Пашенова Н. В., Полякова Г. Г., Афанасова Е. Н. Изучение грибов синевы древесины в хвойных лесах Центральной Сибири // ХБЗ. 2009. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-gribov-sinevy-drevesiny-v-hvoynyh-lesah-tsentralnoy-sibiri> (дата обращения: 13.04.2025).
2. Basset Y., Favaro A., Springate N. D., Battisti A. Observations on the relative effectiveness of *Scolytus multistriatus* (Marshall) and *Scolytus pygmaeus* (Fabricius) (Coleoptera: Scolytidae) as vectors of the Dutch elm disease // Mitteilungen der Schweizerischen Entomol. Gesellschaft. 1992. V. 65. P. 61–67 (in German with English abstract).
3. Gomez D. F., Riggins J. J., Cognato A. I. Bark beetles // Forest Entomology and Pathology. V. 1: Entomol / J. D. Allison, T. D. Paine, B. Slippers, M. J. Wingfield (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2023. P. 299–337.

4. Harrington T. C. Ecology and evolution of mycophagous bark beetles and their fungal partners // *Insect-Fungal Associations: Ecology and Evolution* / F. E. Vega and M. Blackwell (Eds.). N. Y.: Oxford Univ. Press, 2005. P. 257–291.
5. Hofstetter R. W., Dinkins-Bookwalter J., Davis T. S., Klepzig D. Symbiotic association of bark beetles // *Bark beetles: Biology and ecology of native and invasive species* / F. E. Vega and R. W. Hofstetter (Eds.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2015. P. 209–238.
6. Jamâa, Mohamed Iahbib Ben et al. “The virulence of phytopathogenic fungi associated with the bark beetles *Tomicus piniperda* and *Orthotomicus erosus* in Tunisia.” *Forest Pathology* 37 (2007): 51–63.
7. Jankowiak R. Fungi associated with *Tomicus piniperda* in Poland and assessment of their virulence using Scots pine seedlings // *Annals of forest science*. 2006. Vol. 63, №. 7. P. 801–808.
8. Klepzig K. D., Six D. L. Bark beetle-fungal symbiosis: context dependency in complex associations // *Symbiosis*. 2004. V. 37. Iss. 1. P. 189–205.
9. Li, Jin et al. “*Ophiostoma sugadaiense*, a new species in the *Ophiostoma piceae* complex associated with bark beetles infesting Japanese larch in Japan.” *Mycoscience* 58 (2017): 154–168.
10. Masuya, H., Kaneko, S., Yamaoka, Y., & Osawa, M. (1999). Comparisons of Ophiostomatoid Fungi Associated with *Tomicus piniperda* and *T. minor* in Japanese Red Pine. *Journal of Forest Research*, 4(2), 131–135. <https://doi.org/10.1007/BF02762237>
11. Mayers C. G., Harrington T. C., Biedermann P. H. W. *Mycoflora defines and infects* / T. R. Schultz, R. Gawne, P. N. Peregrine (Eds.). Cambridge, MA: The MIT Press, 2022. P. 105–141.
12. Menkis A., Ostbrant I. L., Davydenko K., Bakys R., Balalaitis M., Vasaitis R. *Scolytus multistriatus* associated with Dutch elm disease on the island of Gotland: phenology and communities of vectored fungi // *Mycol. Progress*. 2016. V. 15. Iss. 6. Article number 55. 8 p.
13. Paine, T.D. Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi, and live host conifers. / T.D. Paine, K.F. Raffa, T.C. Harrington // *Annu. Rev. Entomol.* 1997.– V.42.– P. 179–206.
14. Silva, Ximena et al. “Comparative analyses of fungal biota carried by the pine shoot beetle (*Tomicus piniperda* L.) in northern and southern Finland.” *Scandinavian Journal of Forest Research* 30 (2015): 497 - 506.
15. Wadke N., Kandasamy D., Vogel H., Lah L., Wingfield B., Paetz C., Wright L., Gershenzon J., Hammerbacher A. The bark-beetle-associated fungus, *Endoconidiophora polonica*, utilizes the phenolic defense compounds of its host as a carbon source // *Plant Physiol.* 2016. V. 171. Iss. 2. P. 914–931.
16. Zhao T., Ganji S., Schiebe C., Bohman B., Weinstein P., Krokene P., Borg-Karlson A.-K., Unelius C. R. Convergent evolution of semiochemicals across kingdoms: bark beetles and their fungal symbionts // *The ISME J.* 2019. V. 13. Iss. 6. P. 1535–1545

Секция «Продуктивность и биоразнообразие лесных экосистем»

**ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА СОХРАННОСТИ И РОСТА ПОТОМСТВ ЕЛИ
В 59-ЛЕТНИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ЛОМОНОСОВСКОГО
ЛЕСНИЧЕСТВА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Баранов Н.И.¹, Жигунов А.В.^{1,2}, Николаева М.А.^{1,2}, Каканов С.В.¹

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова,

²Сколковский институт науки и технологий, г. Москва

**AGE DYNAMICS OF THE PRESERVATION AND GROWTH OF SPRUCE
OFFSPRINGS IN 59-YEAR-OLD GEOGRAPHICAL CULTURES OF THE LOMONOSOV
FOREST OF THE LENINGRAD REGION**

Baranov N.I.¹, Zhigunov A.V.^{1,2}, Nikolaeva M.A.^{1,2}, Kakanov S.V.¹

¹Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

²Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow

Аннотация. По результатам исследований 59-летних географических культур ели в Ломоносовском лесничестве выявлено, что наилучшие показатели роста и сохранности на территории Ленинградской области имеют потомства *Picea abies* (L.) Karst., в первую очередь, из Псковской, Новгородской и Тверской областей. Наблюдается чёткая зависимость: по мере удаления местонахождения материнских климатипов от места проведения опыта в восточном и северном направлении темпы роста в потомстве снижаются.

Ключевые слова: географические культуры, ель, климатические изменения, рост, диаметры, высота, корреляция параметров, сохранность.

Abstract. According to the results of studies of 59-year-old geographical cultures of spruce in the Lomonosov Forestry, it was revealed that the offspring of *Picea abies* L. Karst., primarily from the Pskov Region and the Novgorod and Tver Regions, have the best growth indicators. There is a clear dependence: as the maternal climatic variety moves away from the experimental site in the eastern and northern directions, the growth rate of its offspring decreases.

Keywords: geographical cultures, spruce, climatic changes, growth, diameters, height, correlation of parameters, preservation.

В настоящее время наблюдается большое количество лесных пожаров, охватывающих десятки тысяч гектаров, неконтролируемых рубок леса, которые, в свою очередь, нарушают естественное возобновление насаждений и снижают устойчивость к негативным факторам среды, а также климатических аномалий и других природных катаклизмов [1]. Подобные явления провоцируют деградацию лесных экосистем и эрозию генетического фонда — необратимую утрату уникальных аллельных комбинаций, сформировавшихся в ходе длительной эволюции [2].

Существует несколько подходов к минимизации негативных факторов, описанных выше, исследование географической изменчивости наследственных признаков, оптимизацию лесосеменного районирования.

Ключевым инструментом изучения внутривидовой изменчивости остаётся создание географических культур. Данный метод позволяет объективно сравнить рост и развитие деревьев различных провинций, выявить наиболее

перспективные климатические экотипы, а также спрогнозировать реакцию лесных насаждений на изменения климата [4, 6].

Один из масштабных экспериментов является закладка сети географических культур древесных пород, выполненная по единой программе ВНИИЛМ в 1977–1978 гг. Опыт по созданию географических культур ели охватил 17 опытных пунктов, что дало возможность: получить репрезентативные данные о пластичности признаков в зависимости от географического происхождения семян, оценить адаптивные возможности популяций в условиях интродукции, а также сформировать научную базу для современного лесосеменного районирования [3]. Параллельно можно проводить исследования на молекулярно-генетическом уровне [5], а также создание моделей климатических сценариев [4].

Объект исследования. Географические культуры ели, 1967 года посадки на территории Ленинградской обл. в Гостилицком участковом лесничестве Ломоносовского лесничества, 35 квартал (59°47' с.ш. и 29°32' в.д.). Почвенный профиль представлен среднеподзолистой почвой с кислой реакцией на моренном суглинке. Тип материнского древостоя — ельник кисличный с переходом в черничный. Рельеф неровный, с воронками от взрывов 1941–1944 годов; увлажнение неоднородное (восточная часть понижена). Осенью 1966 года проведена обработка почвы плугом ПКЛН-500 (с трактором С-100) на глубину 30 см. Посадка выполнена 2-летними сеянцами под меч Колесова, с обеих сторон борозды, в однократной повторности. Шаг посадки — 0,5 м, густота — 6,15 тыс.шт./га. Сортировка сеянцев не проводилась для сохранения генотипического разнообразия. Дополнение культур не проводилось.

На объекте проводятся испытания семенных потомств 17 климатипов, распределённых по трём группам: 10 - ель европейская (*Picea abies* L. Karst.); 2 - ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.); 5 - гибриды этих двух видов. Разница между крайними местами заготовки семян с материнских климатипов составляла: по широте - 13,24° (Р. Коми, Усть-Выемский лесхоз ÷ Тернопольская обл., Кременецкий лесхоз); по долготе ÷ 28,07° (Р. Литва, Тракайский лесхоз - Р. Удмуртия, Балезинский лесхоз).

Методика. Исследование выполнено в соответствии с методикой ВНИИЛМ [3]. В июле 2025 года проведён сплошной пересчёт всех живых деревьев. Для каждого климатипа измерены диаметры стволов на высоте груди с точностью до 0,5 см. Для каждого климатипа определены графические высоты по замерам высот 20–25 деревьев, отобранных пропорционально числу деревьев по ступеням толщины. Анализ данных включал этапы: статистическая обработка результатов в программе Microsoft Excel; расчет комплексного оценочного показателя D^2H ; корреляционный анализ для сравнительной оценки роста потомств.

Результаты. Сохранность 13-летних культур составляла от 92,3% (псковский климатип) до 68,4% (татарский климатип), к 32 годам лидером и аутсайдером по сохранности, также и остались псковский -74,1% (ель европейская) и татарский - 35,1% (гибридная форма) варианты. К 43 годам первенство стал занимать тверской климатип - 53% (ель европейская), а низшая «строчка» досталась ели сибирской происхождением из Р. Коми (31,1%). К последнему измерению, т.е. в 2025 году (59-летние культуры) лидером по сохранности опять стал Псковский климатип (32%), а аутсайдером так и остался вариант из республики Коми (16,6%).

Лидером по диаметру в 59-летних культурах является ель европейская происхождением из Тернопольской области (19 см), а по высоте — из Псковской области (24,7 см); отстающий как по диаметру (14,5 см), так и по высоте (24,7 см) - климатип из Р.

Коми. По результатам расчета D^2H максимальное значение (883,8 $дм^3$) имеет ель европейская из Витебской области, минимальное - ель сибирская из Р. Коми – 419,8 $дм^3$ (табл. 1).

Таблица 1

Динамика сохранности и рост ели в 59-летних географических культурах в Ломоносовском лесничестве

Район заготовки семян (республика, область, лесхоз)	Геогр. коорд. (<u>с.ш.</u> / <u>в.д.</u>)	Сохранность в возрасте, %				Параметры роста		D ² *H, дм ³
		13 лет	32 года	44 года	59 лет	средний D _{1.3} , см	H _{граф.} , м	
Ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.)								
Псковская, Псковский	57°49'/ 28°20 '	92,4	74,1	49,5	32,0	17,0	24,7	796,7
Новгородская, Молвотицкий	57°25'/ 32°20'	82,4	60,6	52,0	29,4	18,8	24,1	851,8
Тверская, Торопецкий	56°29'/ 31°38'	90,1	66,8	53,0	24,5	18,9	22,8	817,0
Эстония, Вырусский	57°54'/ 27°00'	90,2	60,4	48,0	23,0	18,3	23,7	793,7
Латвия, Даугавпилсский	55°59'/ 26°32'	90,3	57,5	49,1	24,5	18,9	24,0	857,3
Литва, Тракайский	54°38'/ 24°56'	89,6	44,4	43,0	28,3	18,7	23,8	834,9
Витебская, Поставский	55°07'/ 26°50'	89,9	75,5	51,7	32,0	19,1	24,2	883,8
Гродненская, Слонимский	53°05'/ 25°19'	87,4	50,9	43,6	24,4	18,5	23,8	813,7
Брестская, Ляховичский	53°02'/ 26°16'	82,4	59,8	46,1	20,7	18,4	22,9	778,7
Тернопольская, Кременецкий	49°00'/ 25°30'	87,6	46	41,2	23,5	19,)	22,8	820,5
Гибридные формы								
Ленинградская, Гатчинский	59°34'/ 30°08'	90,9	66,8	47,0	33,0	18,9	25,8	922,6
Карелия, Сортавальский	61°43'/ 30°43'	89,3	50,9	44,6	22,1	17,7	22,8	711,1
Удмуртия, Балезинский	57°59'/ 53°00'	88,6	48,3	43,8	20,0	17,9	22,6	725,7
Марий Эл, Сернурский	56°56'/ 49°09'	78,0	45,0	34,0	24,0	17,5	21,7	666,8
Татарстан, Зеленодольский	55°48'/ 48°28'	68,4	35,1	34,0	23,5	17,4	21,3	647,1
Ель сибирская (<i>Picea obovata</i> Ledeb.)								
Коми, Усть- Вымский	62°14'/ 50°25'	86,4	43,5	31,1	16,6	14,5	19,9	419,8

Район заготовки семян (республика, область, лесхоз)	Геогр. коорд. (с.ш./в.д.)	Сохранность в возрасте, %				Параметры роста		$D^2 \cdot H$, дм ³
		13 лет	32 года	44 года	59 лет	средний $D_{1.3}$, см	$H_{граф.}$, м	
Пермский край, Березниковский	59°23'/56°36'	82,4	60,4	38,7	18,5	16,79	22,4	631,5

Существует слабая обратная зависимость между широтной и сохранностью культур (-0.16) и широтой и высотой культур (-0.18), что говорит о том, что при удалении от места заготовки на юг от места заготовки семян сохранность и высота растет. Также существует умеренная зависимость, между широтой и комплексным оценочным показателем ($r = -0.47 \pm 0.277$) и широтой и диаметром ($r = -0.6 \pm 0.206$), что также говорит о том, что с удалением мест происхождения климатипов на юг и запад сохранность и рост климатипов повышаются (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционный анализ параметров роста и сохранности 59-летних географических культур ели I поколения в Ломоносовском лесничестве

Фактор влияния	Коэффициент корреляции (r)			
	сохранность	диаметр	высота	$D^2 H$
сев. широта	-0.16	-0.60 ± 0.206	-0.18	-0.47 ± 0.227
вост. долгота	-0.56 ± 0.213	-0.72 ± 0.18	-0.68 ± 0.189	-0.76 ± 0.167
сохранность	-	0.64 ± 0.198	0.81 ± 0.152	0.76 ± 0.169
диаметр	0.64 ± 0.198	-	0.77 ± 0.169	0.97 ± 0.067
высота	0.81 ± 0.152	0.77 ± 0.169	-	0.9 ± 0.11

При уменьшении долготы (движении от места заготовки семян на восток) существует обратная средняя и высокая зависимость между, параметром выше и следующими показателями: сохранностью (-0.56 ± 0.213), диаметром (-0.72 ± 0.18), высотой (-0.68 ± 0.189) и комплексным показателем (-0.76 ± 0.167), т.е. происходит увеличение показателей, при уменьшении долготы.

Между сохранностью и диаметром существует прямая средняя зависимость (0.64 ± 0.198) и сильная между сохранностью и высотой (0.81 ± 0.152), сохранностью и комплексным оценочным показателем 0.76 ± 0.169 , т.е. чем больше сохранность, тем толще и выше деревья, а также больше $D^2 H$.

Также существует прямая средняя зависимость между высотой, диаметром и другими параметрами.

Заключение: по результатам обследования и исследования можно сделать, следующие выводы:

- на территории Ленинградской области для лесовосстановления можно рекомендовать посадочный материал выращенный из семян помимо местного (Ленинградского климатипа), а также из семян популяций ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) из Псковской, Новгородской и Тверской областей, так как в 59-ти летних культурах их параметры незначительно отличаются;

- следует воздержаться от использования для выращивания посадочного материала семена популяции ели сибирской из Республики Коми.

Работа осуществлялась при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-16-00109).

Библиографический список

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары в Российской Федерации (состояние и последствия) // Технологии гражданской безопасности. 2006. № 4. 12-21.
2. Гребельный С.Д. Утрата аллельного разнообразия у видов гибридного происхождения // Экологическая генетика. 2009. № 2. С. 47–49.
3. Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / Под ред. Е.П. Проказина. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
4. Кузнецова Н.М. Климатические изменения и их влияние на ареалы лесообразующих видов // Экология. 2022. № 3. С. 165–172.
5. Петров С.А., Иванов В.Н. Молекулярно-генетические методы в лесоводстве: современные подходы и перспективы // Лесоведение. 2020. № 4. С. 287–295.
6. Шутяев А.М. Изменчивость хвойных видов в испытательных культурах Центрального Черноземья. М.: МПРРФ, 2007. 296 с.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ЦИКЛОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ И ВОЗРАСТНОЙ
СТРУКТУРЫ НАСАЖДЕНИЙ *POPULUS L.* В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ НА
ПРИМЕРЕ ВЫБОРГСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Зимирева В.С.¹, Бойцов А.К.²

¹Университет ИТМО,

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

THE RELATIONSHIP BETWEEN RESIDENTIAL DEVELOPMENT CYCLES AND THE
AGE STRUCTURE OF *POPULUS L.* PLANTINGS IN AN URBAN ENVIRONMENT ON
THE EXAMPLE OF THE VYBORGSKY DISTRICT OF ST. PETERSBURG

Zimireva V.S.¹, Boitsov A.K.²

¹ITMO University

² Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. На примере Выборгского района Санкт-Петербурга методами полевых исследований, ГИС- и статистического анализа ($n = 297$) проверялась гипотеза о связи года постройки жилых зданий и возраста деревьев *Populus L.* Выявлена умеренная отрицательная корреляция ($r = -0,383$, $p < 0,05$). Низкий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,236$) показывает, что временной фактор застройки объясняет лишь 23,6% дисперсии возраста, что подчеркивает значительное влияние иных факторов (реконструкция, компенсационное озеленение). Результаты подтверждают сложный характер формирования возрастной структуры городских насаждений.

Ключевые слова: тополь, возраст деревьев, озеленение города, зеленые насаждения, городская среда, год постройки зданий, корреляционный анализ, регрессионный анализ, пространственный анализ.

Abstract. Using the example of the Vyborg district of St. Petersburg, the hypothesis of the relationship between the year of construction of residential buildings and the age of *Populus L.* trees was tested using field research, GIS and statistical analysis ($n = 297$). A moderate negative correlation was found ($r = -0.383$, $p < 0.05$). The low coefficient of determination ($R^2 = 0.236$) shows that the time factor of building explains only 23.6% of the age variance, which highlights the significant influence of other factors (reconstruction, compensatory landscaping). The results confirm the complex nature of the formation of the age structure of urban plantings.

Keywords: poplar, age of trees, urban landscaping, green spaces, urban environment, buildings construction year, correlation analysis, regression analysis, spatial analysis.

Ключевой проблемой современных мегаполисов является формирование устойчивого зеленого фонда, где возрастная структура насаждений выступает ценным индикатором исторических градостроительных практик. С одной стороны, такие породы, как тополь (*Populus L.*), традиционно и эффективно используются в городском озеленении, что демонстрирует международный опыт [9, 10]. С другой стороны, города сталкиваются с устойчивой тенденцией к сокращению и качественной деградации зеленых зон, что подтверждается исследованиями для Киева [8], Москвы [7] и Санкт-Петербурга [4]. Парадокс заключается в том, что ценность зеленых насаждений для здоровья населения и качества среды неоспорима [3], однако их площадь неуклонно сокращается под давлением застройки [4]. Данное противоречие обуславливает актуальность изучения возрастной динамики насаждений для разработки эффективных стратегий управления.

Ключевой проблемой, выявленной в работах последних лет, является отсутствие комплексного подхода к озеленению в программах благоустройства. Как показано на примере малых городов Приамурья, мероприятия часто ограничиваются элементами «серой инфраструктуры» при дефиците крупных озеленительных проектов [6]. Детальный анализ структуры озеленения Василеостровского района Санкт-Петербурга показал, что лишь 6,85% зеленых насаждений относятся к категории густой древесной растительности [5]. В той же работе констатируется отсутствие в Санкт-Петербурге единой картографической базы данных о зеленых насаждениях и выявлена зависимость между временем застройки и характером озеленения.

Таким образом, актуальной задачей является изучение возрастной структуры городских насаждений как индикатора градостроительных практик. Однако сила и характер количественных зависимостей между периодами жилой застройки и возрастом городских насаждений в условиях Санкт-Петербурга остаются невыясненными. Поэтому была выдвинута следующая гипотеза: между годом постройки жилых зданий и возрастом *Populus L.* на прилегающих территориях существует статистически значимая связь. Цель работы – проверка данной гипотезы на примере Выборгского района Санкт-Петербурга.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: сформировать репрезентативную базу данных о возрасте тополей и годе постройки ближайших жилых зданий в Выборгском районе Санкт-Петербурга; визуализировать распределение исследуемых параметров средствами пространственного анализа в QGIS; методами корреляционного и регрессионного анализа количественно оценить силу и направление связи между изучаемыми параметрами; интерпретировать полученные результаты в контексте исторических градостроительных практик.

Объектом исследования являются различные виды и гибриды *Populus L.* Выбор данного рода обусловлен его доминирующей ролью в историческом озеленении Санкт-Петербурга, высокими средообразующими и декоративными качествами [2]. Исследования, проведенные на территории города, подтверждают значительное видовое и гибридное разнообразие тополей, в том числе и в Выборгском районе [1], что обуславливает репрезентативность выборки.

В качестве модельной территории был выбран Выборгский район Санкт-Петербурга. Его неоднородная застройка, включающая объекты от дореволюционного до современного периода, создает уникальную возможность для сравнительного анализа разных исторических периодов в рамках одного административного района. На его территории также произрастают разновозрастные насаждения тополей (*Populus L.*), что является необходимым условием для проведения анализа.

В ходе проведения полевых исследований была сформирована база данных, содержащая сведения о возрасте тополей (*Populus L.*) с различными типами посадок: одиночными, групповыми, аллейными и т.п., расположенных на дворовых территориях, в скверах, вдоль улиц и автомобильных дорог. Определение возраста деревьев проводилось с опорой на архивные данные и дендрохронологическим методом с использованием возрастного бурава. Общий объем выборки составил 297 деревьев.

Пространственный анализ выполнен в геоинформационной системе QGIS (версия 3.42.1). Методом наложения слоев жилой застройки и зеленых насаждений из анализа были исключены деревья, расположенные в границах парков и промышленных зон, так как их возраст мог быть не связан непосредственно с годом постройки окружающих жилых зданий. Для каждого дерева *Populus L.* было определено ближайшее жилое здание, что позволило сформировать пары наблюдений «дерево–здание» для

последующего статистического анализа. Данные о годе постройки жилых зданий были получены из открытых кадастровых источников и архивных материалов.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения R (версия 4.3.1) и пакета stats. Для проверки гипотезы применялись коэффициент корреляции Пирсона и линейный регрессионный анализ. Уровень статистической значимости установлен при $p < 0,05$.

Визуализация пространственного расположения исследуемых объектов на модельной территории приведена на рис. 1.

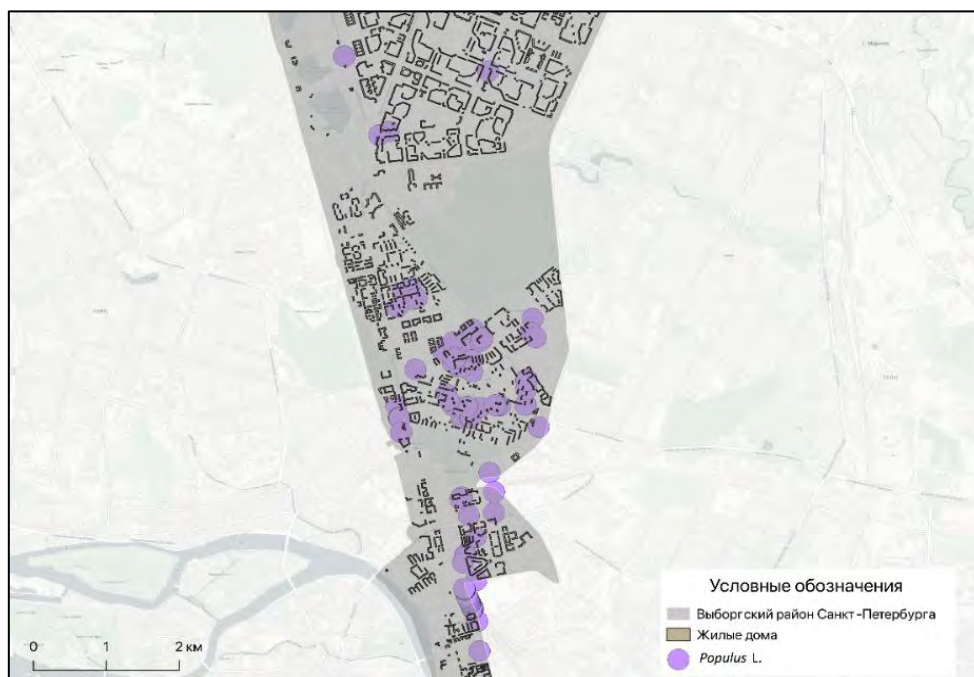


Рисунок 1. Карта-схема расположения исследованных деревьев рода *Populus* L. и жилых зданий на территории Выборгского района Санкт-Петербурга в QGIS

Исследованная часть Выборгского района Санкт-Петербурга характеризуется неоднородной застройкой, включающей как объекты дореволюционного периода, так и здания, построенные в 2010-х годах. Методом пространственного наложения слоев жилой застройки и зеленых насаждений осуществлен первичный отбор, исключив из рассмотрения деревья, расположенные в границах парков и промышленных зон, так как их возраст может быть не связан непосредственно с годом постройки окружающих жилых зданий.

Полученный массив пространственных данных послужил основой для последующих расчетов. Результаты статистического анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические показатели исследуемых параметров

Параметр	n	Разброс анализируемых данных	Коэффициент			p-value
			корреляции	регрессии	детерминации (R^2)	
Жилые дома	297	1913-2015 год	-0,383	-0,506	0,236	< 0,001
Деревья		6-160 лет				

Пояснение: n — объем выборки, p-value — уровень значимости.

Корреляционный анализ выявил статистически значимую умеренную отрицательную связь между годом постройки жилых зданий и возрастом ближайших тополей (*Populus L.*).

Регрессионный анализ подтвердил наличие статистически значимой отрицательной связи. Согласно модели, с увеличением года постройки зданий возраст деревьев *Populus L.* имеет тенденцию к снижению. Однако низкий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,236$) указывает на то, что временной фактор застройки объясняет лишь 23,6% вариации возраста насаждений, что подчеркивает существенное влияние других факторов.

Проведенное исследование подтвердило выдвинутую гипотезу о наличии статистически значимой отрицательной связи между годом постройки жилых зданий и возрастом деревьев *Populus L.* в Выборгском районе Санкт-Петербурга. Выявленная умеренная статистическая связь согласуется с существованием общей тенденции к соответствию периодов строительства и озеленения, что особенно характерно для планового градостроительства 1950-1970-х годов. Именно в этот период в Советском Союзе активно практиковалось комплексное формирование архитектурной и растительной среды, включавшее массовые посадки тополей в новых микрорайонах.

Однако ограниченное значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,236$) свидетельствует о существенном влиянии других факторов на возрастную структуру насаждений. Низкая доля объясненной дисперсии подчеркивает комплексный характер формирования городского зеленого фонда, на который влияют многочисленные антропогенные факторы, включая многократные циклы реконструкции, практику компенсационного озеленения и систематические кампании по замене аварийных деревьев. Выявленная умеренная отрицательная связь согласуется с общей тенденцией соответствия периодов строительства и озеленения, характерной для планового градостроительства 1950-1970-х годов. Однако низкий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,236$) свидетельствует о существенном влиянии иных факторов. На это указывает наличие молодых деревьев рядом со старинными зданиями (результат реконструкции) и сохранение старовозрастных тополей в кварталах новой застройки. Для современных новостроек синхронное озеленение тополями практически не обнаружено, что указывает на изменение градостроительных приоритетов и согласуется с выводами других исследований [6].

Таким образом, проведенное исследование показало наличие статистически значимой умеренной обратной связи между годом постройки жилых зданий и возрастом *Populus L.* в Выборгском районе Санкт-Петербурга. Полученные результаты свидетельствуют о том, что возрастная структура городских насаждений формируется под влиянием комплекса факторов, среди которых время застройки является лишь одним из многих. Возрастная структура зеленых насаждений представляет собой динамическую систему, формирующуюся под влиянием как исторических практик благоустройства, так и современных управленческих решений.

Выявленные закономерности обладают значительным прикладным потенциалом и могут быть использованы при планировании мероприятий по озеленению городских территорий, а также в ходе разработки стратегий управления зеленым фондом мегаполиса. Перспективным направлением дальнейших исследований является анализ влияния дополнительных факторов, таких как тип застройки, антропогенная нагрузка, почвенно-экологические условия и специфика принимаемых управленческих решений, на процессы формирования и динамики возрастной структуры городского озеленения.

Библиографический список

1. Бойцов А.К. Анализ видового и гибридного разнообразия тополей Санкт-Петербурга / А.К. Бойцов, В.С. Зимирева, А.В. Жигунов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : Материалы X всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 мая 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2025. – С. 139-142.
2. Бойцов А.К. Декоративные свойства тополей в городских ландшафтах Санкт-Петербурга / А.К. Бойцов, В.С. Зимирева // Сборник научных трудов Совета молодых учёных СПбГЛТУ : Сборник статей. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2024. – С. 12-22.
3. Большакова А.Д., Зазнобина Н.И., Ковалева Т.А. Роль зеленых насаждений в повышении качества здоровья городского населения (на примере г. Нижнего Новгорода) // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12. – №. 1. – С. 27-33.
4. Виноградов Ф.В. Мониторинг зеленых насаждений г. Санкт-Петербурга по данным дистанционного зондирования / Ф.В. Виноградов, Д.К. Алексеев // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2024. – № 1(49). – С. 86-89.
5. Гусев Е.И. Оценка уровня озеленения Василеостровского района Санкт-Петербурга с использованием данных дистанционного зондирования Земли и географических информационных систем. – 2025.
6. Жучков Д.В., Макаренко В.П., Фетисов Д.М. Зеленые насаждения как показатель качества городской среды (на примере малых и средних городов Приамурья) // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2025. – №. 2 (57). – С. 49-66.
7. Каргашин П.Е. Геоинформационный анализ распространения зеленых насаждений в г. Москве / П.Е. Каргашин, М.А. Каргашина, О.В. Кирюшина // География и геоэкология: проблемы науки, практики и образования : Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 19 мая 2016 года / Редколлегия: М.И. Подболотова (отв. ред.), Е.В. Евдокимова, Б.И. Кочуров и др.. – Москва: Московский государственный областной университет, 2016. – С. 231-237.
8. Havrylenko O. et al. Geoinformation support for urban green space planning in the conditions of climate change (by the case of Kyiv) // Geoinformatics. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. – Т. 2021. – №. 1. – С. 1-6.
9. Łukasziewicz J. et al. Poplars' shelterbelts and woodlots in the cultural landscape of Poland — Functions, application and maintenance // Public Recreation and Landscape Protection — With Sense Hand in Hand...: Conference Proceeding: 13th—15th May. – 2019. – С. 281-285.
10. Łukasziewicz J. et al. The Ecological Potential of Poplars (*Populus* L.) for City Tree Planting and Management: A Preliminary Study of Central Poland (Warsaw) and Silesia (Chorzów) // Land. – 2024. – Т. 13. – №. 5. – С. 593.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Иришина Е.И., Павлов В.С.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

METHODS OF NOISE POLLUTION RESEARCH

Irishina E.I., Pavlov V.S.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме шумового загрязнения от автотранспорта в городских условиях. В данной статье рассматриваются методы исследования шумового загрязнения, его влияние на качество жизни людей, разработка рекомендаций для борьбы с ним, а также роли зелёных насаждений в защите от шума.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, звуковой ландшафт, городской шум, карты шума

Abstract. The article is devoted to the urgent problem of noise pollution from vehicles in urban conditions. This article discusses methods for investigating noise pollution and its impact on people's quality of life, developing recommendations to combat it, and the role of green spaces in noise protection.

Keywords: noise pollution, soundscape, urban noise, noise mapping

Введение. Шум является одной из основных проблем современных городов, влияющей на качество жизни людей, а согласно определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), шумовое загрязнение является третьим по степени воздействия на общество после загрязнения воздуха и воды [6].

К наиболее распространенным городским источникам шума относятся: автомобильный, железнодорожный и авиационный транспорт, трамвай, метрополитен и промышленные предприятия, создающие уровни шума, значительно превышающие допустимые значения. Уровень загрязнения дорожным шумом составляет 90% от общего уровня шума в развитых городах [9].

Основная часть. Шумовое загрязнение является предметом современных исследований из-за его неблагоприятного воздействия на людей. Оно оказывает негативное воздействие на здоровье человека, вызывая стресс, нарушения сна, сердечно-сосудистые заболевания и снижение слуха. Для эффективной борьбы с шумовым загрязнением необходимо его точное измерение и пространственное представление. В Российской Федерации основным нормативным документом, регулирующим уровень звука в зданиях и зонах строительства, методы определения уровней звуковой точки, вычисленные требования для средств защиты от шума и т.д., является СНиП 23-03-2003 Защита от шума [3].

Одним из способов оценки акустической ситуации на территории является карта шума. Карта шума – карта местности или план ограниченной территории с нанесенными на нее данными о шумовой обстановке, позволяющая оценить комплексное воздействие шума от всех источников на данной территории, воздействие шума от отдельных источников, а также прогнозировать суммарные воздействия шума на данной территории.

Картографирование шумового загрязнения включает в себя сбор данных, обработку и визуализацию результатов в виде карт шумового поля. Существует несколько основных методов [2]:

1. Непосредственное измерение уровня шума в различных точках территории с помощью шумомеров. Данные собираются в определенные временные интервалы (например, каждый час или каждые сутки) и в разных точках, обеспечивая достаточно плотную сетку измерений для точного картирования. Этот метод наиболее эффективен для локального картирования шума в конкретных точках, например, рядом с автомагистралями или вблизи жилых зданий. Шумомеры — приборы, направленные на измерение звукового давления. Данные приборы подлежат обязательной метрологической аттестации в соответствующих органах с выдачей документов, подтверждающих работоспособность, в которых фиксируются основные параметры работы прибора, устанавливаются предельные значения измеряемых величин и погрешность измерений при работе [5].

2. Моделирование шума: этот метод основан на использовании специализированных программных продуктов, которые позволяют прогнозировать уровни шума на основе различных параметров: интенсивность движения, тип транспортных средств, скорость движения, характеристики дорожного покрытия, рельеф местности, наличие шумозащитных экранов и т.д.

3. Гибридные методы: в практике часто применяются комбинированные подходы, сочетающие «in situ» (перевод с лат. — «на месте», в месте нахождения, в естественной среде) измерения с моделированием. Измерения используются для калибровки модели и верификации результатов моделирования. Такой подход позволяет снизить затраты на измерения, повышая при этом точность моделирования.

4. Использование данных дистанционного зондирования: в последние годы активно развиваются методы использования данных дистанционного зондирования, например, спутниковых снимков, для оценки шумового загрязнения. Эта информация используется в качестве входных данных для шумовых моделей.

Для обработки и визуализации данных о шумовом загрязнении используются специализированные программные продукты: CadnaA, SoundPLAN, NoiseMapper и GIS-системы (ArcGIS, QGIS). Системы геоинформационного моделирования используются для визуализации полученных карт шумового загрязнения и анализа пространственного распределения шума [1].

Картографирование шумового загрязнения может идентифицировать районы с высоким уровнем шумового загрязнения и оценить потенциальный риск для здоровья жителей. И, следовательно, может использоваться для шумозащитных мероприятий при планировании новых жилых районов, дорог и другой инфраструктуры. Регулярное картографирование шумового загрязнения позволяет отслеживать изменения уровня шума во времени и оценивать эффективность долгосрочных стратегий по снижению шума.

Многие исследования, кроме измерения величин шума, включают в себя анкетирование или опрос жителей/посетителей изучаемой территории.

Благодаря стремительному развитию геоинформационных и компьютерных технологий и совершенствованию средств связи современное картографирование шума получило ряд новых инструментов для более объективного моделирования и визуализации шумовой нагрузки на территорию, одним из которых является мобильное картографирование шума. Использование индивидуальных средств связи для фиксации уровней шума в различных точках территории позволяет моделировать шумовую

нагрузку практически в режиме онлайн. При этом растущая осведомленность граждан о качестве среды их проживания и воздействии на здоровье, возможно, стимулировала, наряду с другими факторами, их интерес к гражданским научным проектам, где обычно они могут участвовать в краудсорсинге и сборе данных, чтобы помочь научному сообществу собирать наблюдения, выходящие за рамки возможностей научных исследователей, распределенным, совместным способом, призывая к активности граждан-добровольцев [7].

Доступность этого вида наблюдений для широкого круга пользователей позволяет собирать обширные массивы данных, что компенсирует невысокую точность единичных результатов, обусловленных малой чувствительностью микрофонов, встроенных в современную компьютерную технику. Очевидно, что такой подход имеет большие перспективы в сфере оценки комплексной шумовой нагрузки на городской территории.

Реализация эколого-градостроительных требований предусматривает уменьшение шумового дискомфорта на селитебной территории городской застройки. В городских условиях одним из элементов системы шумоподавления являются зелёные насаждения. Исследования показали, что лиственные породы поглощают до 26% звуковой энергии, а отражают и рассеивают до 74%. Различные породы деревьев характеризуются разной шумозащитной способностью. Так, хвойные породы (ель и сосна) по сравнению с лиственными (древесные и кустарниковые) лучше регулируют шумовой режим. Зеленые насаждения вдоль дорог в городских районах могут снизить уровень шума с 10% до 24% от общего уровня дорожного шума [8]. Высокий противозумный эффект достигается при размещении зеленых насаждений вблизи источников шума (у автомагистралей) и одновременно – у защищаемого от шума объекта (жилых и административных зданий). В целях снижения интенсивности шума в условиях города следует создавать шумозащитные посадки на свободных от застройки участках, внутри кварталов и микрорайонов, между застройками и проезжей частью. В частности, полоса зеленых насаждений шириной 20 м на городской территории, сформированная из 5 рядов деревьев с кустарником в подлеске и живой изгородью, может при уровне шума на проезжей части 75 дБА снизить его на 10...12 дБА [4].

Закключение. Ввиду значительного влияния шумового загрязнения на физическое и психологическое состояние человека, шумовое загрязнение в современном мире является предметом многих научных исследований. В этом контексте картографирование и анализ шумового загрязнения, особенно в городских районах с высоким уровнем плотности населения, играет важную роль в разработке планов развития города и его районов. Разнообразие методов и программного обеспечения позволяет выбрать оптимальный подход в зависимости от масштаба задачи и доступных ресурсов. Дальнейшее развитие методов картографирования, включая использование данных дистанционного зондирования и развитие алгоритмов обработки объемных данных, позволит повысить точность и эффективность оценки шумового загрязнения и способствовать созданию комфортной городской среды.

Библиографический список

1. Картографирование шумового загрязнения от автотранспорта: методы и приложения. URL: <https://apni.ru/article/11784-kartografirovanie-shumovogo-zagryazneniya-ot-avtotransporta-metody-i-prilozheniya> (дата обращения: 10.11.2025).
2. Николаева О.Н., Краснопольский И.А. Обзор существующих подходов к расчету и картографированию уровней шумового загрязнения территории // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022.

3. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=472496> (Дата доступа: 24.12.2025)
4. Шумозащитная роль зеленых насаждений: URL: <https://studfile.net/preview/2115346/page:36/> (дата обращения: 11.11.2025).
5. Экологические основы планировки городов [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А.И. Ренц, М.А. Слепнев ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра градостроительства. — Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2022. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru>.
6. Basu, B. et al. (2021) " Investigating changes in noise pollution due to the COVID-19 lockdown: The case of Dublin, Ireland", Sustainable Cities and Society, 65(November 2020), p. 102597. doi: 10.1016/j.scs.2020.102597.
7. Giovanni Brambilla, Francesca Pedrielli «Smartphone-Based Participatory Soundscape Mapping for a More Sustainable Acoustic Environment», Institute of Marine Engineering (INM), 2020.
8. Li, B., Qiu, Z. and Zheng, J. (2021) Impacts of noise barriers on near-viaduct air quality in a city : A case study in Xi'an Building and Environment, 196(February), p. 107751. doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107751.
9. Vinaykumar Kurakula (2007) " A GIS-Based approach for 3D noise modelling using 3D city models", International Institute for Geo-Information Science and Earth, 319(5864), pp. 766–769.

СОСТОЯНИЕ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА МОСКОВСКОМ ПРОСПЕКТЕ В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Лепилин Т.С.¹, Егоров А.А.^{1,2,3}

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова,

²Институт лесоведения РАН,

³Санкт-Петербургский государственный университет

THE STATE OF GREEN SPACES ON MOSKOVSKY PROSPEKT IN ST. PETERSBURG

Lepilin T.S.¹, Egorov A.A.^{1,2,3}

¹ Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov,

²Institute of Forest Science of the RAS,

³St. Petersburg State University

Аннотация. Проведена комплексная оценка состояния придорожных зеленых насаждений, расположенных вдоль Московского проспекта. Выявлены основные породы деревьев, используемые в озеленении проспекта.

Ключевые слова: придорожные зеленые насаждения, экологическая оценка, категории состояния, Московский проспект.

Abstract. A comprehensive assessment of the condition of the roadside green spaces located along Moskovsky Prospekt has been carried out. The main tree species used in the landscaping of the avenue have been identified.

Keywords: roadside green spaces, environmental assessment, categories of condition, Moskovsky Prospekt.

С каждым годом количество машин на улицах города увеличивается, а площадь зелёных насаждений постепенно уменьшается из-за массовой застройки или прокладывания новых автомагистралей, что влечёт за собой и увеличение выбросов выхлопных газов, и, следовательно, ухудшение качества воздуха, что, несомненно сказывается на состоянии зелёных насаждений. В особенности последствия такого влияния наиболее заметны в придорожных насаждениях, расположенных вдоль крупных автомагистралей. Одной из крупных оживленных магистралей, проходящих от центра г. Санкт-Петербурга к его окраинам городской застройки, является Московский проспект. Поэтому мы поставили себе цель оценить состояние зелёных насаждений, расположенных в его придорожной полосе.

Объектами исследования были выбраны зеленые насаждения, непосредственно прилегающие к Московскому проспекту. Расположение пробных площадей (ПП), приводится на рис. 1.

Оценка состояния проводилась по Методике оценки экологического состояния зеленых насаждений общего пользования Санкт-Петербурга [2]. Оценка состояния древостоя проводилась по 6-ти категориям, а кустарников, цветников и газонов по 3-м категориям (1 – хорошее состояние, 2 – удовлетворительное, 3 – неудовлетворительное). В результате обследования было выявлено, что породами, используемыми в озеленении Московского проспекта, являются липа мелколистная (*Tilia cordata*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), ель колючая (*Picea pungens*), клен остролистный и к. колосистый (*Acer platanoides* и *A. spicatum*), ива белая (*Salix alba*), каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*), берёза пушистая и повислая (*Betula pubescens* и *B. pendula*).

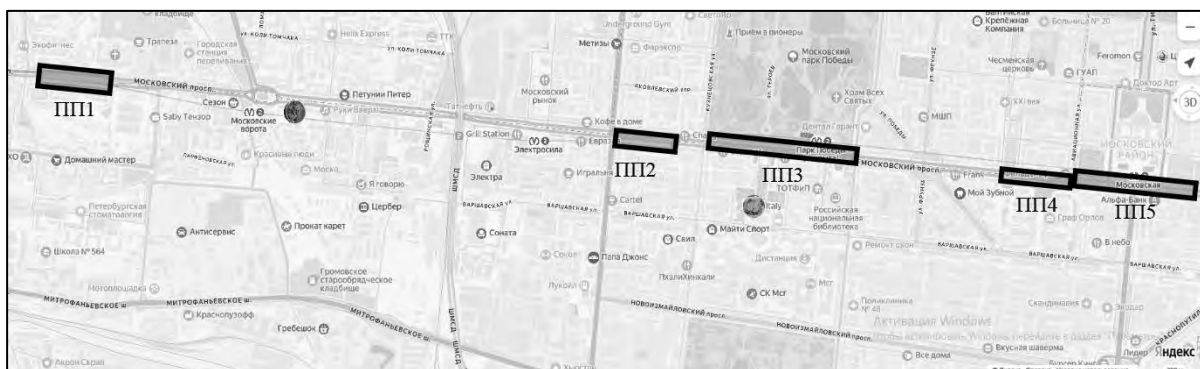


Рисунок 1. Схема расположения пробных площадей на Московском проспекте

Всего было обследовано 401 дерево, среди которых преобладает липа мелколистная (56%). Результаты исследования по состоянию деревьев приведены на рис. 2. Видно ассиметричное преобладание деревьев 1 и 2 категории (95%), над 3-5 (5%) и отсутствие деревьев 6 категории. Сравнение с данным, полученными ранее в 2007 г. на Московском проспекте [1], которые показывали преобладание сильно ослабленных деревьев, позволяет сделать предварительный вывод, что в текущий момент за придорожными насаждениями на Московском проспекте проводится достаточно своевременный уход, путем удаления сильно ослабленных деревьев (3 категория) и деревьев более худшего состояния (4-5 категории).

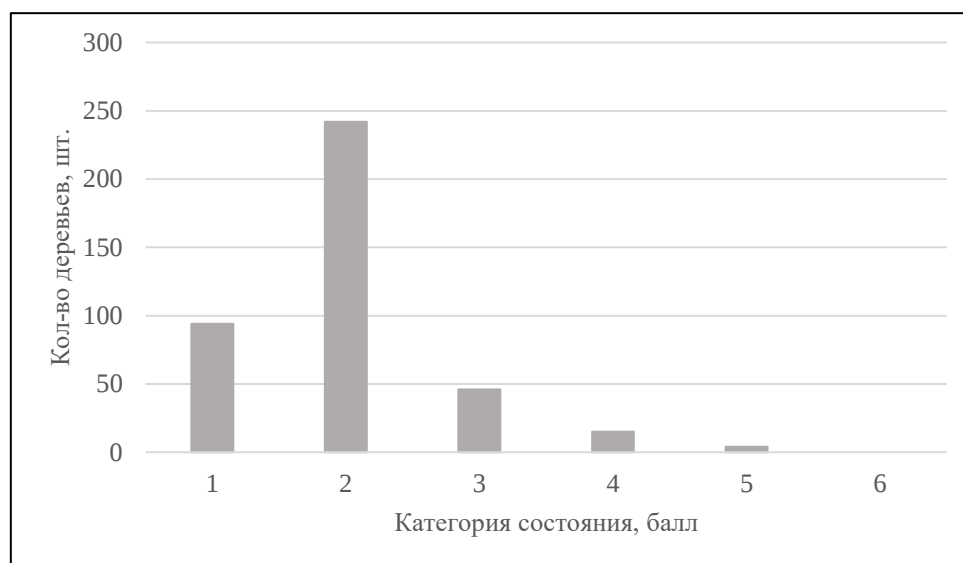


Рисунок 2. Распределение деревьев по 6-ти категориям состояния на шести ПП, заложенных в придорожных насаждениях вдоль Московского проспекта

Для оценки экологического состояния зеленых насаждений общего пользования Санкт-Петербурга был рассчитан коэффициент комплексной экологической оценки (ККЭО), как средневзвешенное по каждому элементу зеленых насаждений (деревьям, кустарникам, цветникам и газонам) с учетом их участия, которое оценивается за счёт поправочных коэффициентов [2]. В соответствии с методикой шесть категорий состояния деревьев приведены к 3-м категориям.

Средняя категория состояния по деревьям (*Бсд*) и кустарникам (*Бск*) составила (1, 2):

$$B_{cd} = (94 * 1 + (242 + 46) * 2 + (15 + 4 + 0) * 3) / (94 + 242 + 46 + 15 + 4) = 1,81 \quad (1)$$

$$B_{ck} = (318 * 1 + 409 * 2 + 16 * 3) / 743 = 1,59 \quad (2)$$

Состояние газонов на исследуемых участках оценивается как удовлетворительное ($B_{cg} = 2$): Поверхность газона с заметными неровностями, цвет – варьируется от зелёного и желтого, до бледно-зелёного, а также на всех площадях можно заметить проплешины.

Состояние цветников на исследованных участках, в целом оценивается как хорошее ($B_{cc} = 1$): поверхность тщательно спланирована, растения хорошо развиты, равные по качеству, сорняков и отпада нет.

Для интегральной оценки состояния всей растительности на исследованных участках был использован ККЭО, который рассчитывается по формуле (3):

$$ККЭО = (B_{cd} * ПК_d + B_{ck} * ПК_k + B_{cg} * ПК_g + B_{cc} * ПК_c) / \sum ПК_{d, k, g, c} \quad (3)$$

где, $ПК_{d, k, g, c}$ – поправочные коэффициенты деревьев, кустарников, газонов и цветников.

Таким образом ККЭО зеленых насаждений на Московском проспекте равен (4):

$$ККЭО = (1,81 * 1 + 1,59 * 0,4 + 2 * 0,3 + 1 * 0,1) / 1,8 = 1,75 \quad (4)$$

Значения ККЭО варьируют от 1 при полном благополучии и высокой оценке состояния всех элементов растительности на объекте до 3 при неудовлетворительном состоянии растений [2]. В ходе исследования проведена оценка состояния зеленых насаждений на Московском проспекте, в результате которой ККЭО составил 1,75, что соответствует достаточно хорошему состоянию зелёных насаждений.

Библиографический список

1. Егоров А.А., Давыдова И.А., Давыдова Н.А. Состояние Липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в придорожных насаждениях Московского проспекта г. Санкт-Петербург // Биологическое разнообразие, озеленение, лесопользование: Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых, проходившей 11-12 ноября 2008 года в Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии / Под общей ред. А.А. Егорова. СПб.: СПбГЛТА, 2009а. С. 94-98.
2. Методика оценки экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга. Распоряжение Правительства г. СПб от 3 февраля 2021 года N 17-р.

**ИНТЕНСИВНОСТЬ УКОРЕНЕНИЯ ПОБЕГОВ НИЖНЕЙ ЧАСТИ КРОНЫ
Picea×fennica В УСЛОВИЯХ БЕРЕЗОВО-ЕЛОВО-СОСНОВОГО ЧЕРНИЧНО-
ЗЕЛЕНОМОШНОГО ЛЕСА ВБЛИЗИ Ж.Д. СТАНЦИИ «КРАСНОФЛОТСКИЙ
КАРЬЕР» (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ, ЛОМОНОСОВСКИЙ РАЙОН)**

Чечельницкая В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет

**INTENSITY OF ROOTING OF THE SPROUT OF THE LOWER PART OF THE CROWN
OF *Picea×fennica* IN THE CONDITIONS OF A BIRCH-SPRUCE-PINE BLUEBERRY-
GREEN MOSS FOREST NEAR THE KRASNOFLOTSKY QUARRY RAILWAY
STATION (LENINGRAD REGION, LOMONOSOVSKY DISTRICT)**

Chechelnitskaya V.A.

Saint-Petersburg State University,

Аннотация. В исследовании описано нехарактерное для *Picea×fennica* укоренение нижних ветвей, определены их морфометрические параметры, жизненное состояние, направление роста и характер ветвления (в плоскости или объемное). Проведена оценка интенсивности укоренения ветвей *P.×fennica* в пределах исследуемого сообщества. Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности формирования вегетативного подростка *P.×fennica*.

Ключевые слова: *P.×fennica*, укоренение ветвей, вегетативное размножение.

Abstract. The study describes the rooting of lower branches that is not typical for *Picea×fennica*, and determines their morphometric parameters, vital state, growth direction, and branching pattern (flat or volumetric). The study also assesses the intensity of rooting of *P.×fennica* branches within the studied community. The obtained data suggest the possibility of the formation of vegetative undergrowth of *P.×fennica*.

Keywords: *P.×fennica*, branch rooting, vegetative propagation.

Вегетативное размножение *Picea obovata* описано в основном для лесных сообществ в экстремальных для вида условиях границы ареала – в северной тайге или в горных областях [2]. Сперва боковые ветви погружаются в мохово-лишайниковый покров и лесную подстилку, затем происходит укоренение побегов с формированием многолетнее корневище эпигеогенного типа [3], приобретение восходящими побегами вертикального направления роста и отделение от материнской особи. Отмечается также, что образование клонов из укорененных ветвей характерно для сообществ поздних сукцессионных стадий [1].

Однако в Ленинградской области, где распространен гибрид *P.×fennica*, условия, которые способны приводить к укоренению ветвей и формированию клональных колоний, остаются малоизученными.

Исследуемый березово-елово-сосновый чернично-зеленомошный лес произрастает на территории Ломоносовского района Ленинградской области, вблизи ж.д. станции «Краснофлотский карьер (68 километр)». Сообщество подвержено сильной антропогенной нагрузке со стороны проходящей от него в 20 м к югу железной дороги, пересекающего его с севера на юг шоссе, действующего песчаного карьера «Краснофлотское-2», расположенного на территории сообщества, ведущей к нему траншеи, пересекающей сообщество с запада на восток, большого количество отходов и густой сети троп. Тропы образуются хаотично, так что мохово-лишайниковый покров

развит только куртинами вокруг деревьев, где его мощность вместе с подстилкой достигает 3-4 см, а между куртинами живой напочвенный покров отсутствует, а мощность подстилки составляет ок. 1 см.

Для описания растительного сообщества была заложена временная пробная площадь размером 20×20 м в 20 м к востоку от шоссе, на равном удалении (примерно в 70 м) от карьера и ж.д. полотна. Для оценки интенсивности укоренения нижних ветвей *P.×fennica*, определения их морфометрических и других характеристик и основных параметров древостоя в направлении с северо-запада на юго-восток была заложена трансекта со сторонами 50 и 10 м. Вдоль центральной пятидесятиметровой рулетки определялись сомкнутость крон и суммарная мощность мохово-лишайникового покрова и подстилки в шестикратной повторности, а также сумма площадей поперечных сечений стволов деревьев в четырехкратной повторности с шагом в 10 м.

Описание характеристик укорененных ветвей включало в себя определение основных таксационных параметров материнского дерева: высоты (h дер.), диаметра ствола на высоте 1,3 м от основания (d дер.), стадии онтогенеза, наличия генеративных органов и каких-либо повреждений. Для укорененных ветвей фиксировались следующие параметры: длина, высота, диаметр в месте выхода на поверхность, расстояние от ствола, жизненность, возраст надземной части (определялся по мутовкам), общее проективное покрытие укорененных ветвей в куртине, характер ветвления и направление роста побега. Для каждой ветви фиксировался факт укоренения; погруженные в напочвенный покров, но не укорененные побеги не учитывались.

Экземпляры *P.×fennica*, у которых были обнаружены укорененные ветви, менее крупные, чем в среднем в обоих подъярусах древостоя в сообществе. Это может быть связано с тем, что у молодых деревьев крона опущена ниже, чем у старых (таблицы 1-2).

Таблица 1

Характеристики *P.×fennica* в древесном ярусе исследуемого сообщества

Подъярус	Ср. (max) h, м	Ср. (max) d, см
II	10,8 (12,5)	12,3 (13,3)
III	6,1 (7,5)	6,3 (7,7)

Размерные характеристики и возраст укорененных побегов варьируют достаточно для того, чтобы предположить их рост уже в укорененном состоянии (табл. 3)

Таблица 2

Средние (минимальные и максимальные) параметры деревьев, имеющих укорененные ветви в кроне

Ср. h дер. (min-max), м	Ср. d дер. (min-max), см	Онтоген. состояние	Ср. расст-е от ств. (min-max), м	Ср. кол-во УП (min-max), шт.
4,6 (1,8-8,5)	6,9 (2,4-12,0)	50% - G1 50% - V	1,4 (1-1,5)	3 (1-6)

Примечание: G1 – генеративные, V – виргинильные; УП – укорененный побег.

Проективное покрытие укорененных ветвей в пределах каждой куртины составляло менее 0,5%. Половина деревьев имела сухие вершины, одна ель была затенена более крупной, растущей рядом.

Таблица 3

Характеристики укорененных ветвей

Ср. l лэр. (min-max), см	Ср. h лэр. (min-max), см	Ср. d лэр. (min-max), мм	Ср. А лэр. (min-max), лет
33 (20-77)	19 (8-42)	5 (2-10)	9 (5-22)

По жизненному состоянию 83% укорененных ветвей были оценены как здоровые, 17 % как сомнительные. Последние принадлежали одному суховершинному дереву, так что жизненность укорененной ветви в данном случае связана с жизненным состоянием дерева. Большая часть укорененных побегов (83%) ветвится в плоскости, у остальных веточки последних двух порядков выходили из плоскости, направляясь вертикально вверх. Большинство побегов – 61% – имели горизонтальный рост, 28% – горизонтальны восходящий, 11% – вертикальный.

Плотность укорененных ветвей в исследуемом сообществе составила 360 шт./га. Учитывая, что большая их часть жизнеспособна, можно предположить развитие вегетативного подроста в исследуемом сообществе.

Библиографический список

1. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники: методические разработки для студентов биологических специальностей. Ч. I. / Под ред. О. В. Смирновой. – М.: «Прометей» МГПУ им. В.И. Ленина, 1989. – 102 с.
2. Мишко А.Е. Онтоморфогенез ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в северотаетных лесах (на примере Кольского полуострова): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Мишко Алиса Евгеньевна. – СПб: 2019. – 146 с.
3. Evstigneev, O.I. Ontogenetic stages of trees: an overview / O.I. Evstigneev, V.N. Korotkov // Russian Journal of Ecosystem. – 2016. – Vol. 2(2). – P. 1-31.

Секция «Ботаника и дендрология»

**ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ, ЛЕКАРСТВЕННЫЕ СВОЙСТВА И
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЯ БА КИХ (MORINDA OFFICINALIS
HOW.) ВО ВЬЕТНАМЕ**

Доан Тхи Нга¹, Нешатаев В.Ю.²

¹Дай Нам университет, Ханой, Вьетнам

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

**BIOLOGICAL CHARACTERISTICS, MEDICINAL VALUE AND SUSTAINABLE
DEVELOPMENT POTENTIAL OF BA KICH (MORINDA OFFICINALIS HOW.) IN
VIETNAM**

Doan Thi Nga¹, Neshataev V.Yu.²

¹Dai Nam University, Ha Noi, Viet Nam

²Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Ба Ких (*Morinda officinalis* How.) является ценным лекарственным растением семейства мареновых (Rubiaceae), широко используемым в традиционной медицине Вьетнама для повышения жизненной силы, укрепления иммунитета и лечения различных заболеваний. В статье рассматриваются морфологические и биологические особенности растения, химический состав и фармакологические свойства корня и надземной части, а также возможности его использования и культивирования во Вьетнаме. Особое внимание уделено характеристике условий произрастания и опыта использования растения во Вьетнаме и в России.

Ключевые слова: Ба Ких, *Morinda officinalis*, лекарственное растение, сапонины, устойчивое развитие.

Abstract. Ba Kich (*Morinda officinalis* How.) is a valuable medicinal plant of the Rubiaceae family, widely used in traditional Vietnamese medicine to enhance vitality, strengthen immunity, and treat various diseases. This paper reviews the morphological and biological characteristics of the plant, chemical composition, pharmacological properties of the root and aerial parts, and opportunities for sustainable utilization and cultivation in Vietnam. Special attention is given to comparing growth conditions and practical applications of the plant in Vietnam and Russia.

Keywords: Ba Kich, *Morinda officinalis*, medicinal plant, saponins, sustainable development.

Введение. Ба Ких (*Morinda officinalis* How.) — многолетнее травянистое растение, эндемик южного Китая и северного Вьетнама, относящееся к семейству мареновых (Rubiaceae) [1]. В традиционной восточной медицине корень Ба Ких используется для укрепления костей, повышения половой функции, улучшения иммунитета и борьбы с усталостью [2]. Несмотря на ценность растения, его естественные популяции находятся под угрозой из-за чрезмерной заготовки и сокращения площади лесных экосистем.

Морфологические и биологические особенности. Ба Ких — кустарник высотой 1–3 м с мощным корневищем, достигающим в диаметре до 10 см [3]. Листья очередные, овальные, длиной 5–12 см. Цветки мелкие, бело-желтые, собраны в зонтичные соцветия, цветение наблюдается с апреля по июнь. Плоды — овальные костянки, созревают в

сентябре-октябре. Растение предпочитает известковые, хорошо дренированные почвы и умеренную тень.

Размножение возможно семенами и вегетативно (деление корневищ). Молодые растения достигают продуктивного возраста на 3–4 год жизни. В естественных условиях растение демонстрирует медленный рост и чувствительно к изменению микроклимата [4].



Рисунок 1. Общий вид растения Ба Ких с корнем, цветами и плодами

Химический состав и фармакологические свойства. Корень Ба Ких богат сапонинами, иридоидными гликозидами, алкалоидами и полифенолами [5, 6]. Основные компоненты приведены в таблице.

Таблица 1.

Основные химические компоненты корня Ба Ких

Компонент	Содержание (%)	Биологическая активность
Ба ких сапонин (morindin)	0,5–1,2	Иммуномодуляция, противовоспалительное
Иридоиды	0,3–0,8	Антиоксидант, нейропротекция
Алкалоиды	0,1–0,3	Противомикробное, тонизирующее
Полифенолы	0,2–0,6	Антистресс, антиоксидант

Фармакологические исследования показали, что экстракты корня повышают жизненную активность, регулируют работу сердечно-сосудистой системы, снижают воспаление и обладают нейропротекторным действием [7, 8].

Применение и фармацевтические формы. В традиционной медицине Вьетнама Ба Ких используется в виде настоев, отваров, спиртовых экстрактов, а также в сочетании с другими лекарственными растениями для повышения эффективности лечения [9].

Современные фармацевтические продукты включают порошки корня, капсулы и функциональные напитки.

Устойчивое использование и культивирование. Для сохранения естественных популяций необходимо внедрение программ культивирования и агротехнических мероприятий. Во Вьетнаме разработаны технологии выращивания Ба Ких на известковых и суглинистых почвах с поливом и контролем освещенности [10]. Также ведется селекционная работа по увеличению содержания сапонинов и адаптации к местным климатическим условиям.

Ба Ких в России. В России Ба Ких изучается в рамках адаптационных исследований и фитотерапевтических проектов. Климатические условия ограничивают естественное произрастание, поэтому применяются тепличные и оранжерейные методы выращивания. В отличие от Вьетнама, где растение растет в условиях тропического климата, в России более актуальны технологии *in vitro* и контролируемого культивирования для получения лекарственного сырья [11, 12].

Заключение. Ба Ких (*Morinda officinalis* How.) представляет собой ценное лекарственное растение с высоким содержанием биоактивных соединений. Его устойчивое культивирование во Вьетнаме имеет значительный потенциал для фармацевтической промышленности и сохранения биологического разнообразия. Международный опыт, включая исследования в России, позволяет внедрять современные методы размножения и контроля качества сырья.

Библиографический список

1. Chen, J., Huang, L. (2018). *Morinda officinalis* How.: Botany, Chemistry, and Pharmacology. *Phytotherapy Research*, 32(6), 1024–1037.
2. Lý, T.N., Trần, V.T. (2015). *Cây thuốc và vị thuốc Việt Nam*. Hà Nội: Nhà xuất bản Y học.
3. Ho, P.T., Nguyen, T.X. (2012). *Morinda officinalis* in Vietnam: Morphology and Ecology. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 3(4), 45–52.
4. Tran, H.T., Le, M.L. (2017). Propagation and cultivation techniques for Ba Kich. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), 23–30.
5. Wang, Q., Li, X. (2016). Chemical constituents of *Morinda officinalis* roots. *Journal of Natural Products*, 79(3), 550–558.
6. Nguyễn, V.H., Phạm, Q.H. (2014). Phytochemical analysis of Ba Kich roots. *Vietnam Journal of Chemistry*, 52(6), 1123–1132.
7. Li, Y., Zhou, B. (2019). Pharmacological effects of *Morinda officinalis*. *Chinese Journal of Integrative Medicine*, 25(8), 610–618.
8. Phan, D.T., Le, T.H. (2020). Anti-inflammatory and neuroprotective properties of Ba Kich. *Vietnam Journal of Medicine*, 15(1), 15–25.
9. Do, Q.N., Nguyen, T.L. (2018). Traditional uses of *Morinda officinalis* in Vietnam. *Journal of Ethnopharmacology*, 214, 1–9.
10. Lê, H.H., Trương, K.T. (2021). Sustainable cultivation of Ba Kich in Vietnam. *Vietnam Journal of Agricultural Science*, 18(3), 101–110.
11. Neshataev, V.Yu., Ivanov, A.A. (2022). Cultivation of tropical medicinal plants in Russia. *Russian Journal of Medicinal Plant Research*, 6(2), 33–44.
12. Smirnova, L.P., Petrova, I.V. (2020). *In vitro* propagation of *Morinda officinalis* for pharmaceutical use. *Plant Biotechnology Reports*, 14(5), 235–242.

**СОСУДИСТЫЕ РАСТЕНИЯ И МОХООБРАЗНЫЕ СОСНЯКОВ ОРЛЯКОВЫХ
(*PINETUM PTERIDIOSUM*), СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА ЛЕСНЫХ И
ПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ (БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)**

Леготин М.Е.

Санкт-Петербургский государственный университет

**VASCULAR PLANTS AND MOSSES BRACKEN PINES (*PINETUM PTERIDIOSUM*
FOREST TYPE) FORMED ON FOREST AND ARABLE LANDS (BELOVEZHSKAYA
PUSHCHA, REPUBLIC OF BELARUS)**

Legotin M.E.

St. Petersburg State University

Аннотация. В рамках молодежной летней школы по лесной фитоценологии «SYLVAN-2024» проведены флористические исследования в двух насаждениях орлякового типа леса (*Pinetum pteridiosum*) в заповедной зоне национального парка «Беловежская пуца», возникших на сельскохозяйственных и лесных землях. В результате работы были составлены таксономические списки, проведен анализ биологического спектра, экоморфный анализ, рассчитан уровень синантропофитизации фитоценозов. Зафиксировано местонахождение редких видов растений, внесённых в Красную книгу Республики Беларусь.

Ключевые слова: заповедный режим, сосняк орляковый, экоморфный анализ, таксономический спектр флоры, фитоценоз, Беловежская пуца, *Pinetum pteridiosum*.

Abstract. Within the framework of the summer school on forest phytocenology "SYLVAN-2024", floristic studies were conducted in two stands of bracken-type forests (*Pinetum pteridiosum*) in the protected area of the Belovezhskaya Pushcha National Park, which arose on agricultural and forest lands. As a result of the work, taxonomic lists were compiled, an analysis of the biological spectrum, ecomorphic analysis was carried out, and the level of synanthropophytization of phytocenoses was calculated. The location of rare plant species listed in the Red List of the Republic of Belarus has been recorded.

Keywords: protection, ecomorphic analysis, taxonomic spectrum of flora, phytocenosis, Belovezhskaya Pushcha, *Pinetum pteridiosum*.

Исследования проведены в 2024 г. [2] на двух постоянных пробных площадях (ППП), заложенных в 2016 г. сотрудниками Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси в заповедной зоне национального парка «Беловежская пуца» (Новоселковское лесничество, окр. д. Войтов Мост, Свислочский р-н, Гродненская обл.) для долговременных наблюдений за естественной динамикой лесных фитоценозов.

Преобладающими в Беловежской пуце являются хвойные леса — 68,8% (из них сосняки — 58%, ельники — 10,8%). ППП №5 размером 100×50 м расположена в выделе 7 квартала 147А Новосёлковского лесничества. Координаты: 52°49'53,0" с.ш., 24°16'17,8" в.д. Тип леса — сосняк орляковый (*Pinetum pteridiosum*) ассоциация мшисто-орляковая. Почва дерново-подзолистая, развивающаяся на рыхлом песке, залегающем на глубине 80 см, подстилаемая супесью, имеется пахотный горизонт глубиной 25–30 см. На момент закладки пробной площади это был трехъярусный древостой естественного происхождения, сформировавшийся на землях, которые использовались в сельском хозяйстве до 1920-х гг.

ППП №6 размером 100×50 м расположена в выделе 6 квартала 157 Новосёлковского лесничества. Координаты: 52°49'39,2" с.ш., 24°15'57,0" в.д. Тип леса – сосняк орляковый (*Pinetum pteridiosum*), ассоциация мшисто-орляковая. Почва дерново-подзолистая, развивающаяся на песке, залегающем на глубине 60 см, подстилаемая супесью. На момент закладки пробной площади это был трехъярусный древостой естественного происхождения, сформировавшийся на бывших лесных землях, вероятно после вырубki предыдущего древостоя [2].

В результате флористического исследования сосняков на ППП 5 зарегистрировано 50 видов высших сосудистых растений из 4 классов, 22 порядков, 26 семейств и 48 родов, а на ППП 6 35 видов из 4 классов, 15 порядков, 19 семейств и 33 родов. Среди мохообразных на ППП 6 зарегистрировано 17 видов из 6 порядков, 11 семейств и 15 родов, на ППП 5 - 12 видов из 5 порядков, 7 семейств и 10 родов. В таксономическом спектре флоры высших сосудистых растений сосняков доминирует семейство *Poaceae*, характерное для бореальной зоны. Второе место в семейственном спектре занимает семейство *Fabaceae*, что определяет южные флоры (Средиземноморье), на изученных пробных площадях перевес в сторону *Fabaceae*-подтипа может быть связан с работами по увеличению кормовой базы лесных животных. В число ведущих семейств также входят *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Asparagaceae*, *Caryophyllaceae* и *Scrophulariaceae*. Таксономические списки мохообразных отличаются значительно. На ППП 5 ведущим является порядок *Polytrichales* (ППП 5-4 вида; ППП 6-1 вид), отметим высокое обилие здесь *Polytrichum piliferum* и *Atrichum undulatum*, что указывает на высокую нарушенность почвенного покрова, на ППП 6 доминирует порядок *Orthotrichales* (ППП 5-3 вида; ППП 6-6 видов). На ППП 6 также найдено 3 вида порядка *Jungermanniales* - это *Chiloscyphus profundus*, *Radula complanata* и *Ptilidium pulcherrimum*. На ППП 5 представителей этого порядка не найдено (названия мохообразных по [3]).

Распределение мохообразных сосняков по характеру субстрата выявило преобладание на ППП 6 эпифитов (12 видов), например, *Orthotrichum speciosum* и *Radula complanata*, а на ППП 5 эпигеидов (9 видов) - в основном это представители порядка *Polytrichales*. На втором месте на ППП 6 эпигеиды (6 видов), на ППП 5 эпифиты (5 видов). На третьем месте эпиксилы (ППП 5-2 вида; ППП 6-5 видов).

Распределение мохообразных по породам деревьев показало, что большая часть эпифитов на ППП 5 и ППП 6 произрастает на коре *Betula pendula* (ППП 5 - 3 вида; ППП 6 - 4 вида), но на ППП 6 также есть виды, найденные на коре *Juniperus communis* (3 вида). Меньше всего видов обнаружено на коре сосны и ели.

Анализ биологического спектра флоры высших сосудистых растений сосняков по классификациям К. Раункиера и И.Г. Серебрякова показал преобладание гемикриптофитов (ППП 5-13 видов, 41,9%; ППП 6-10 видов, 31,3%) и многолетних трав (ППП 5-17 видов, 50%; ППП 6-17 видов, 50%). Второе место на ППП 5 занимают геофиты, нанофанерофиты (в каждой группе 6 видов, 18,8%) и кустарнички (10 видов, 14%), а на ППП 6 фанерофиты и геофиты (в каждой группе 5 видов, 16,1%), кустарнички и деревья (6 видов, 18%). Наименьшее число видов относится к хамефитам (ППП 5-4 вида, 12,5%; ППП 6-3 видов, 9,7%) и терофитам (ППП 5-1 вид, 3,1%; ППП 6-2 вида, 6,5%), однолетним травам (ППП 5-1 вид, 4%; ППП 6-2 вида, 6%) и кустарникам (ППП 5-1 вид, 4%; ППП 6-1 вид, 3%).

Различие экологических условий в сосняках обеспечивает разнообразие на них видов разных экоморф. По отношению к степени освещённости на ППП 5 и ППП 6 преобладают сциогелиофиты (63% и 58% соответственно), на втором месте гелиосциофиты (22,2% и 20%), на третьем гелиофиты (11,1% и 12%). Интересна разница

в количестве сциофитов (на ППП 5-3,7%, на ППП 6-10%), что указывает на большую затенённость ППП 5. По отношению к степени увлажнения на ППП 5 и ППП 6 преобладают мезогигрофиты (36,7% и 46% соответственно), гигромезофиты (30% и 26%), меньше всего мезофитов (20% и 12%). Данные анализа показывают, что степень увлажнения выше на ППП 6. По отношению к богатству субстрата азотом преобладают олиготрофы (на ППП 5-33,3%, на ППП 6-30%) и олигомезотрофы (на ППП 5-23,3%, на ППП 6-24%), важно, что на ППП 6 выделено 2% мезоэвтрофов и 6% эвмезотрофов, на ППП 5 эти группы экоморф отсутствуют. Анализ экоморф мохообразных показал аналогичные результаты. Стоит добавить, что по отношению к степени кислотности субстрата среди эпигейдных мохообразных на ППП 6 и ППП 5 преобладали умеренные ацидофилы (на ППП 5-91%, на ППП 6-87%), но на ППП 6 остальные 13% являлись нейтрофилами, а на ППП 5 9% ацидофилами.

Уровень синантропофитизации фитоценозов в пределах ППП характеризуется как умеренный, он выше на ППП 5-20%, на ППП 6-18%. Растения-агриофиты на ППП 5 и 6 - это *Quercus rubra* L. и *Sarothamnus scoparius* (L.) W.D.J. Koch.

Коэффициент сходства Жаккара между ППП 5 и ППП 6 по видам высших сосудистых растений - 0,554, по видам мохообразных - 0,526, что говорит о их сравнимости.

Из числа редких видов растений в Красную книгу Республики Беларусь (4 издание, 2015 г.) [1] занесены 2 вида - Арника горная (*Asteraceae Arnica montana* L.) 4 категория и Линнея северная (*Caprifoliaceae Linnaea borealis* L.) 3 категория [3]. 2 вида входят в список дикорастущих высших растений и грибов, нуждающихся в профилактической охране - это Венечник ветвистый (*Anthericum ramosum* L.) и Гудайера ползучая (*Goodyera repens* (L.) R.Br.).

Библиографический список

1. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол. : И.М. Качановский (предс.). М.Е. Никифоров, В.И. Парфенов [и др.]. – 4-е изд. – Минск : Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі. – 2015. – 448 с. ISBN 978-985-11-0843-1. Уч.-изд. л. 49,39. Тираж 1500 экз;
2. Созинов О.В., Ермохин М.В., Комар А.Ю., Никулина А.Р., Нестерова К.А., Черненко П.А., Стригельская Н.П., Романюк А.С., Амбросова А.П., Лапицкий В.М., Шестаков Н.А., Леготин М.Е. Динамика эколого-фитоценологических характеристик в столетних сосняках, сформировавшихся на лесных и пахотных землях. Сборник научных трудов. Ботаника (исследования): сборник научных трудов, № 54, 2024, стр. 226-240.
3. Флора Беларуси. Мохообразные. В 2 т. Т. 1. *Andreaeopsida - Briopsida* / Г.Ф. Рыковский, О.М. Масловский; Под ред. В.И. Парфенова. - Мн.: Тэхналогія, 2004 - 437 с.,ил.

АНИОННО-КАТИОННЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

Нарова Г., Уваров Р.А.

Национальный исследовательский университет ИТМО

ANIONIC–CATIONIC COMPOSITION OF SOILS IN THE COASTAL ZONE OF THE CASPIAN SEA, SOUTHWESTERN KAZAKHSTAN

Narova G., Uvarov R.A.

ITMO University

Аннотация. С целью оценки состояния почв прибрежной зоны Каспийского моря проведено определение их анионно-катионного состава на примере территории города Актау (Юго-Западный Казахстан). Исследование выполнено методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель–104Т». Наиболее распространёнными анионами в исследуемых образцах являются хлориды, тогда как среди катионов преобладают кальций, натрий и калий. Установлено, что формирование засоленности почв имеет преимущественно природный характер и обусловлено геологическим строением, аридным климатом и влиянием морских аэрозолей Каспийского моря. Полученные результаты позволяют уточнить особенности химического состава почв прибрежных территорий и использовать их при проведении геоэкологической оценки состояния экосистем региона.

Ключевые слова: почвы, Каспийское море, анионно-катионный состав, засоленность, прибрежная зона, аридный климат

Abstract. To assess the condition of soils in the coastal zone of the Caspian Sea, the anion–cation composition was determined using the example of the territory of Aktau city (Southwestern Kazakhstan). The study was carried out by the capillary electrophoresis method using the “Kapel–104T” system. The most common anions in the analyzed samples are chlorides, while calcium, sodium, and potassium prevail among cations. It has been established that soil salinization is mainly of natural origin and is determined by the geological structure, arid climate, and the influence of marine aerosols of the Caspian Sea. The obtained results clarify the chemical composition of coastal soils and can be used in the geoecological assessment of the region’s ecosystems.

Keywords: soils, Caspian Sea, anion-cation composition, salinization, coastal zone, arid climate

Прибрежная зона Каспийского моря на территории Юго-Западного Казахстана выступает уникальным природным комплексом, в котором взаимодействуют аридные ландшафты и интенсивно развивающаяся городская инфраструктура. Актау – крупнейший портовый и промышленный центр региона, деятельность которого оказывает значительное воздействие на состояние окружающей среды.

Рассматриваемый объект расположен на территории Юго-Западного Казахстана Мангистауской области между 43° с.ш. и 51° в.д., город Актау – портовый административный центр области. Омывается Каспийским морем в восточной части. Климат региона аридный, пустынный. Наблюдаются холодные зимы и экстремально жаркие погодные условия летом. Согласно исследованиям национальной гидрометеорологической службы, январская температура, характеризующая наибольшую зимнюю стужу, варьируется от -5 до -8°C на северных широтах и от -1 до -4°C в южных районах. Зимние периоды в данном регионе отличаются мягкостью и

кратковременностью, сопровождаясь частыми оттепелями в южных зонах. Летом средние температуры – 24,0°C, абсолютный максимум достигает 42-47°C [1, 4, 8].

Большая часть территории характеризуется высокой гетерогенностью, обусловленной комплексным взаимодействием климатических факторов и рельефа местности, балл бонитета составляет 10,6. В регионе преобладают бурые зональные легкосуглинистые почвы, характерные для аридных зон, с низким содержанием органического вещества и ограниченным гумусовым слоем. Почвы обладают слабой структурой и подвержены эрозии.

Растительный покров представлен в основном ксерофитной и галофитной флорой, способной адаптироваться к сухому климату и высокой солености почв. Встречаются различные виды полыней, солянок, а также редкие виды степных и пустынных трав, формирующие уникальные экосистемы.

В рамках работы проведен сравнительный анализ содержания водорастворимых форм основных анионов и катионов исследуемой территории. Анализ анионно-катионного состава почвенных образцов был проведен с использованием капиллярно-электрофорезной системы «Капель-104Т» и программного обеспечения «МультиХром 1.5х». Условия анализа ионного состава включали длину волны 254 нм, температуру 20°C, ввод пробы под давлением 30 мбар в течение 5 секунд, напряжение +25 кВ для катионного анализа и -17 кВ для анионного анализа, продолжительность анализа составляла 7 минут. Концентрации ионов, полученные в ходе химического анализа, сравнивались с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) химических веществ в почве [5].

Иллюстрируемый график (рис. 1) отображает содержание различных анионов в почвенных образцах города Актау. На графике по оси X отложены номера пробных площадок, по оси Y – суммарное содержание анионов в мг/кг. Каждый столбец разделен на цветные секции, каждая из которых представляет содержание определенного аниона. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что подавляющее большинство анионов приходится на хлорид-ионы, достигающие 50 мг/кг во всех образцах. Сульфат-ионы, нитрат-ионы, фторид-ионы и фосфат-ионы присутствуют в меньших количествах. Показатели согласуются с проведенными агрохимическими исследованиями. Низкое содержание гумуса связано со значительной степенью деградации почв, отсутствием удобрений и растительности.

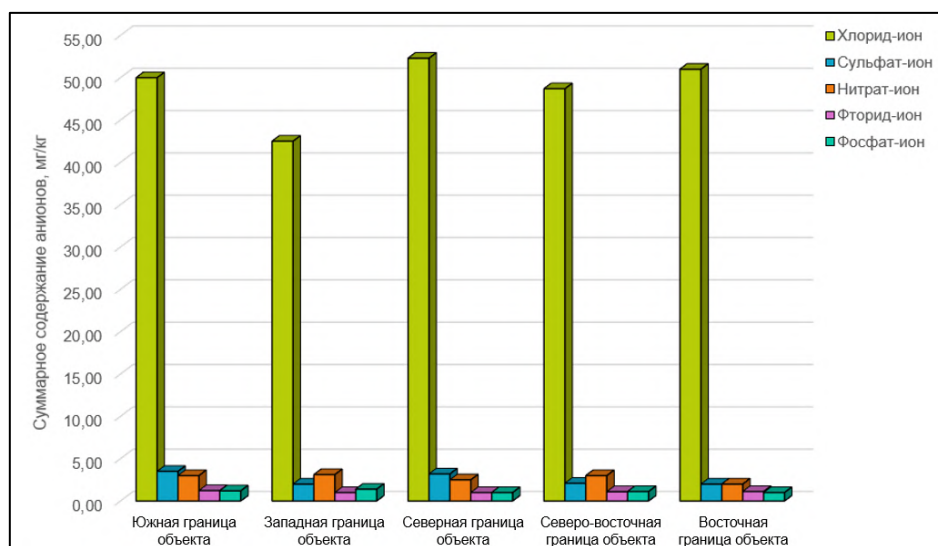


Рисунок 1. График распределения анионов в почвенных образцах

Предположительно, засоление почвы может быть обусловлено переотложением легкорастворимых солей в зоне аэрации, что свойственно для теплого периода года, когда испарение преобладает над инфильтрацией.

На представленном графике (рис. 2) проиллюстрировано общее содержание катионов в почвенных образцах. Кальциевые, натриевые и калиевые ионы вносят наибольший вклад в общее содержание катионов во всех образцах, что указывает на их значительную концентрацию. Наименее представленный катион – аммоний. Сопоставляя данные о степени засоленности плотного остатка и катионного обмена можно сделать вывод о том, что показатели имеют естественное происхождение.

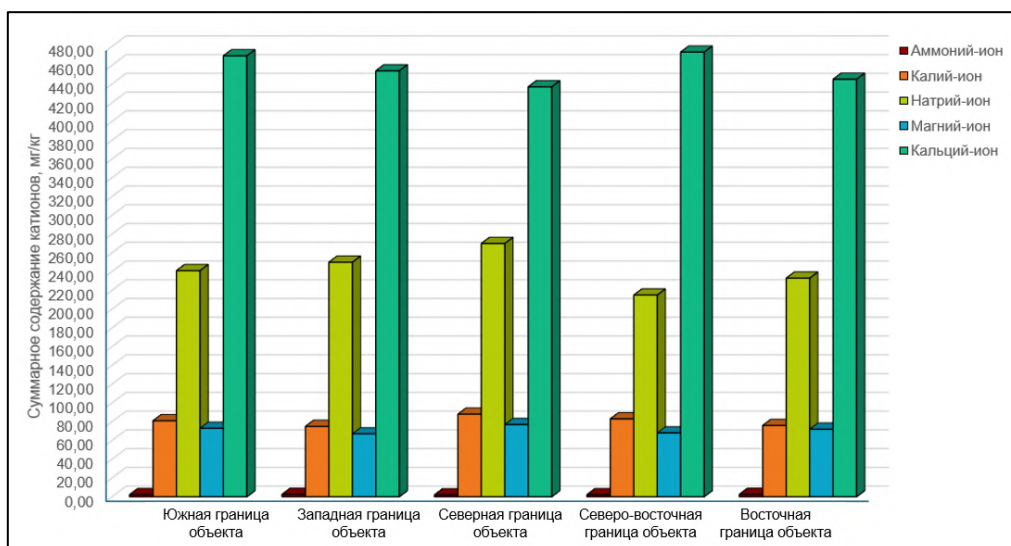


Рисунок 2. График распределения катионов в почвенных образцах

Описанные показатели содержания катионов, таких как кальций, магний и натрий, вероятнее всего связаны с естественным происхождением, базирующееся на геологическом строении и почвообразовании, засушливым климатом, описанные еще в начале века и подтвержденные в дальнейшем [3, 6, 7].

Также, важно учитывать перенос воздушных масс под влиянием Каспийского моря. Морской и континентальный бриз переносят мелкие капли морской воды и аэрозоли, содержащие растворенные соли (натрий, магний, кальций и другие ионы), на сушу. Частицы осаждаются на поверхность почвы, повышая концентрацию соответствующих ионов. Волны и испарение морской воды создают аэрозоли, перемещающиеся на значительные расстояния [2].

Помимо этого, повышение содержания в почве катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} и Na^{+} может быть обусловлено периодом взятия проб на анализы – во время преобладания влагосодержания выпадающих осадков над процессом испарения воды, накопленные соли растворяются, что влечет их перенос в грунтовые воды, вследствие чего их минерализация повышается.

Полученные результаты подтверждают, что засоление почв имеет преимущественно природное происхождение, обусловленное геологическим строением, высокой испаряемостью, переносом морских аэрозолей и сезонными изменениями водного режима. Влияние антропогенных факторов проявляется локально и усиливает процессы деградации почвенного покрова в пределах городской агломерации.

Библиографический список

1. Климат Западного Казахстана. Л.: Гидрометеиздат. 1977. – Т.7, – 121с.
2. Крошенко А.Н., Островская Е.В., Постнов А.А. Международный экологический мониторинг Каспийского моря // Астраханский Вестник экологического образования. – 2018. – № 4 – С. 60–69.
3. Малков В. Е. Генезис, свойства и морфология почв. – Вологда-Молочное, 2006. – 99 с.
4. Министерство экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан: Информационный бюллетень «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан в 2024 году» [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://www.ecogofond.kz/kz-a-paratty-bjulletender-2023-zh-ru-informacionnye-bjulleteni-za-2023-g/> (дата обращения 30.10.2025).
5. Приказ Минздравоохранения РК от 21 апреля 2021 г. № 22595 «Об утверждении Гигиенических нормативов к безопасности среды обитания». – URL: https://www.online.zakon.kz/Document/?doc_id=1033314/ (дата обращения: 30.10.2025).
6. Bekkaliyev A., Nasiyev B., Shibaikin V. Changes in the Quality of Vegetation Cover and Soil of Pastures in Semi-Deserts of West Kazakhstan, Depending on the Grazing Methods // Journal of Ecological Engineering – 2022. – Vol. 23. № 10. P. 50–60.
7. Erokhina O., Funakawa S., Pachikin K. Soils of Kazakhstan, Their Distribution and Mapping // Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia. Environmental Science and Engineering – 2014. – Vol. 32. № 2. P. 519–533.
8. Kazakhstan. National Communication (NC) // NC 8. Biennial Reports. – 2023. Vol. 8. P. 474.

**АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДРЕВОСТОЯ ПАРКА УСАДЬБЫ
МОРДВИНОВЫХ (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТРОДВОРЦОВЫЙ РАЙОН)**

**Чечельницкая В.А.¹, Янишевская Е.А.⁹, Давыдов Т.А.¹, Гунченкова А.Д.¹,
Данилкина Н.В.², Деткова М.Г.¹, Доминио А.В.¹, Иванова Д.Д.³, Игнатьева С.Е.⁴,
Кащенко Г.А.⁵, Неволлина Ю.В.⁶, Фуголь Е.С.⁷, Шумилова С.А.⁸.**

¹Санкт-Петербургский государственный университет,

²Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта,

³Петрозаводский государственный университет,

⁴Санкт-Петербургский государственный горный университет императрицы Екатерины II,

⁵Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,

⁶Челябинский государственный университет,

⁷Уральский государственный горный университет,

⁸Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,

⁹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. Кирова

**ANALYSIS OF THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE MORDVINOVS'
ESTATE PARK (SAINT PETERSBURG, PETRODVORTSOVY DISTRICT)**

**Chechel'nitskaya V.A.¹, Yanishevskaya E. A.⁹, Davidov T.A.¹, Gunchenkova A.D.¹,
Danil'kina N.V.², Detkova M.G.¹, Domio A.V.¹, Ivanova D.D.³, Ignateva S.E.⁴,
Kashchenko G.A.⁵, Nevollina Y.V.⁶, Fugol E.S.⁷, Shumilova S.A.⁸.**

¹Saint-Petersburg State University,

²Immanuel Kant Baltic Federal University,

³Petrozavodsk State University,

⁴Saint Petersburg Mining University,

⁵Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,

⁶Chelyabinsk State University,

⁷Ural state mining university,

⁸Northern (Arctic) Federal University (NArFU),

⁹Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Проведена таксация древостоя парка усадьбы Мордвиновых (Санкт-Петербург, Петродворцовый район). Определена возрастная, размерная, онтогенетическая и виталитетная структура древостоя, выявлены и проанализированы взаимосвязи между исследуемыми параметрами.

Ключевые слова: парк усадьбы Мордвиновых, таксация древостоя, структура древостоя, жизненное состояние деревьев.

Abstract. The study conducted a stand taxation of the Mordvinovs' estate park (St. Petersburg, Petrodvortsovy district). The age, size, ontogenetic and vitality structure of the stand was determined, and the relationships between the studied parameters were identified and analyzed.
Keywords: Mordvinovs' estate park, stand taxation, stand structure, trees vitality.

Усадьба Мордвиновых и южная часть парка, как и большинство дворцово-парковых ансамблей Санкт-Петербурга, расположены на Балтийско-Ладожском уступе. Исследуемый древостой произрастает на территории южной, самой старой части парка усадьбы Мордвиновых, заложенной в XVIII-XIX вв. в естественных лесных насаждениях южно-таежной подзоны [1, 4].

В рамках работы трека «Лесная таксация» участниками естественнонаучной школы Earth Science Camp, организованной активистами Экологического комитета Санкт-Петербургского государственного университета с 1 по 8 сентября 2025 года были заложены две пробные площади размером 20×20 м (рис. 1).

Определялись сомкнутость древостоя и сумма площадей поперечных сечений стволов деревьев с помощью полнотомера Биттерлиха в трехкратной повторности. Проводилась маркировка деревьев перманентным маркером и определение высоты дерева, диаметра ствола на высоте 1,3 м от основания, высоты прикрепления и радиуса кроны по сторонам света, а также онтогенетического и жизненного состояний. Оценка относительного жизненного состояния деревьев проводилась по общепринятой методике [2, 3]. На каждой пробной площади с помощью бурава Пресслера было отобрано 19 кернов на высоте 1,3 м от основания ствола. В лабораторных условиях по годичным кольцам был определён возраст деревьев.



Рисунок 1. Схема расположения пробных площадей

Растительное сообщество на ПП1 – елово-березовый чернично-зеленомошный лес с рябиной в подлеске. При этом в северной части сообщества в древостое преобладает ель, в южной – берёза, напочвенный покров не изменяется.

Ель характеризуется более медленным ростом [3], чем сосна и береза, поэтому как на ПП1, где деревья всех пород сопоставимы по среднему возрасту, так и на ПП2, где ель является наиболее старой породой, по всем размерным характеристикам ель уступает сосне и березе (таблица 1).

В южной части парка усадьбы Мордвиновых были отмечены нарушения травяно-кустарничкового яруса и мохово-лишайникового яруса в связи с вытаптыванием (на данной территории развита густая сеть тропинок). В сообществе, описанном на ПП1, проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса в северной его части составляет примерно 30-40 % (в южной до 80-90%, в некоторых местах 0-10 %).

На ПП2 описан еловый чернично-зеленомошный лес с участием сосны, рябиной и дубом в подлеске. Среднее проективное покрытие составляет 60-70 %.

Большие размерные характеристики березы на ПП1 связаны с тем, что здесь произрастают более старые особи. На ПП2 сосны в среднем на 8 лет старше, чем на ПП1, однако их высота меньше, чем на ПП1. Это объясняется ослаблением конкуренции с березой, которая представлена на ПП2 единично и в меньшем возрасте, чем на ПП1. Конкуренция сосны с елью не вызывает такого интенсивного роста сосны в высоту, так как ель растет медленнее (табл. 1-2).

Таблица 1

Основные характеристики лесных насаждений

№ ПП	Состав древостоя	Сомкнутость	Число стволов на га, шт.
1	7БЗЕ+С	0,7	1325
2	7Е2С1Б	0,9	825

Несмотря на значительно большую плотность древостоя на ПП1 (1325 шт./га), чем на ПП2 (825 шт./га), ели на ПП1 отличаются более раскидистыми кронами, чем на ПП2. Это связано с тем, что в составе древостоя на ПП1 преобладает береза, крона которой сконцентрирована в верхней части ствола. Большие высоты прикрепления крон у сопоставимых по среднему возрасту березы и сосны (68 и 70 лет соответственно) на ПП1 объясняются тем, что в условиях высокой плотности древостоя возрастает конкуренция за свет. На ПП2 радиусы крон по всем направлениям оказались больше, чем на ПП1, что вместе с большей долей ели в составе обусловило такую высокую сомкнутость – 0,9. Древостой на ПП1, состоящий преимущественно из березы, обладающей ажурной кроной, характеризуется меньшей сомкнутостью – 0,6.

Таблица 2

Средние значения основных таксационных показателей древостоя

№ ПП	Порода	Возраст, лет	h, м	d, см		h пр. кр., м				г кр., м			
				0	1,3	С	Ю	З	В	С	Ю	З	В
1	Ель	67	15,7	27	21	4,5	4,2	4,4	4,4	2,0	2,3	2,4	2,3
	Сосна	70	21,7	35	29	17,0	16,0	17,3	16,7	2,4	2,6	2,9	2,1
	Берёза	68	24,8	38	31	14,3	13,3	13,3	14,3	2,8	3,1	2,7	3,0
2	Ель	92	17,7	30	24	10,0	10,2	9,5	10,4	2,5	2,2	2,2	2,3
	Сосна	88	19,6	39	33	16,3	–	14,3	–	3,4	–	5,5	3,3
	Берёза	56	18,0	31	24	13,0	13,0	13,0	13,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Поскольку коренным типом леса для подзоны южной тайги является ельник, можно заключить, что на ПП2 описан древостой более поздней стадии сукцессии, чем на ПП1. В связи с этим можно предположить, что на ПП1 в пределах первых десятков

лет начнется выпадение березы и замещение ее хвойными породами, что подтверждается близостью возрастных и размерных характеристик березы к максимальным для вида в данных условиях (табл. 1-2).

На рис. 2-5 представлены распределения по стадиям онтогенетического состояния и категориям относительного жизненного состояния основных пород, наиболее представленных в составе древостоя.

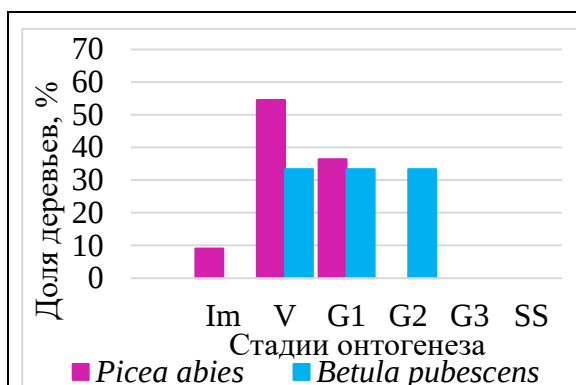


Рисунок 2. Онтогенетическая структура (ПП1)

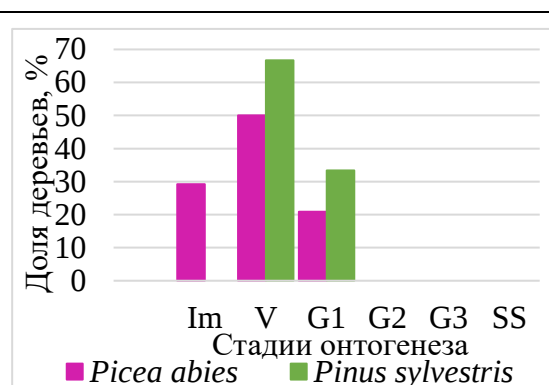


Рисунок 3. Онтогенетическая структура (ПП2)

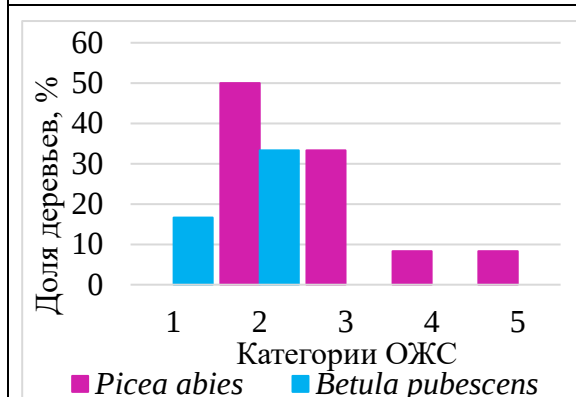


Рисунок 4. Виталитетная структура (ПП1)

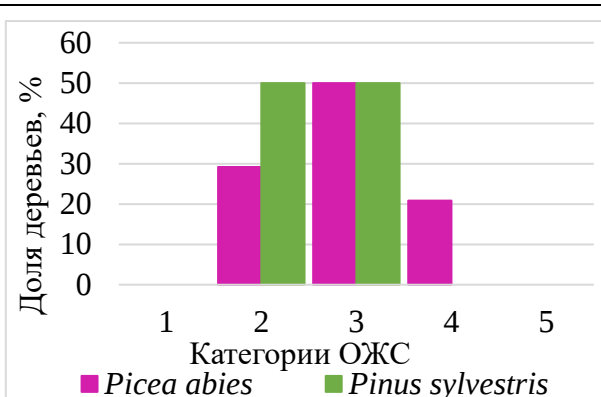


Рисунок 5. Виталитетная структура (ПП2)

Примечание: Im – имматурные, V – виргинильные, G1-G3 – генеративные, SS – субсенильные; ОЖС – относительное жизненное состояние

Береза на ПП1 достигает генеративных стадий, что также свидетельствует о возможном выпадении березы из состава древостоя через несколько десятилетий (рис. 2). Однако жизненное состояние березы на ПП1 выше, чем у ели, которая частично усыхает из-за поражения бактериальной водяной. Тем не менее, большая часть деревьев обеих пород попадает в категорию ослабленных (рис. 4). На ПП2 в онтогенетической структуре преобладают виргинильные ели, как и на ПП1 (рис. 2-3). Полученные данные о состоянии лесного массива и его динамике послужат основой для дальнейших исследований лесных насаждений зеленого пояса Санкт-Петербурга.

Библиографический список

1. Акт по результатам государственной историко-культурной экспертизы документации, обосновывающей меры по обеспечению сохранности объекта культурного наследия федерального значения «Усадьба Мордвиновых»..., Санкт-Петербург, г. Ломоносов, 2021.
2. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В.А. Алексеев // Лесоведение. 1989. №4. - С. 51-57.
3. Таксация леса. Ход роста насаждений: учебное пособие / [И. С. Сальникова и др.] – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. – 130 с.
4. Izotova T.V., Mandryka E.V. The development of the Mordvinovs' estate park territory as an element of the green belt of Saint-Petersburg. St.-Petersburg: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 876. 2021. 6 с.

*Секция «Экономика и управление на предприятиях
лесного комплекса»*

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МАТРИЦ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ АКЦИЙ
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОЙ КОМПАНИИ «СЕГЕЖА ГРУПП»**

Васильев М.А., Абрамова Д.А., Захаренкова И.А.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

APPLICATION OF PROBABILISTIC MODELS USING TRANSITION MATRICES TO
ANALYZE STOCK DYNAMICS OF THE FORESTRY COMPANY "SEGEZHA GROUP"

Vasiliev M.A., Abramova D.A., Zakharenkova I.A.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. В статье предложено использование вероятностных моделей на основе матриц переходных вероятностей для анализа и моделирования динамики акций компании «Сегежа Групп». На основе исторических данных о котировках построена матрица переходных вероятностей между состояниями рынка, отражающими рост, падение и боковое движение цены. Проведён прогноз вероятностей переходов на различные временные горизонты.

Ключевые слова: матрица переходных вероятностей; прогнозирование; анализ состояний компании; Сегежа Групп; вероятностная модель.

Abstract. This paper proposes the use of probabilistic models based on transition matrices to analyze and model the dynamics of Segezha Group stock. Using historical price data, a matrix of transition probabilities between market states reflecting rising, falling, and sideways price movements is constructed. Stationary distribution is calculated and transition probabilities are forecast for various time horizons.

Keywords: transition probability matrix; forecasting; company performance analysis; Segezha Group; probabilistic model.

Всё большую популярность в бизнес-аналитике получают вероятностные и стохастические подходы, которые позволяют описывать поведение рынка как случайный процесс. Одним из таких инструментов является модель, основанная на матрице вероятностей переходов, теоретическое обоснование которой изложено в фундаментальных трудах по теории вероятностей [1].

В основе использованного подхода лежит представление о том, что поведение системы (в данном случае – цены акции) можно описать через вероятности перехода между дискретными состояниями. Ключевым объектом исследования в такой модели является матрица вероятностей переходов, каждый элемент которой показывает вероятность перехода акции из одного состояния в другое за один шаг (торговый день). Подобный подход успешно применяется не только в финансах, но и в других областях, например, для моделирования изменений в клиентской базе [4].

В исследовании были проанализированы исторические данные по акциям ПАО «Сегежа Групп» за период с 28 апреля 2021 года по 3 ноября 2025 года, полученные с платформы *Trading View* [2].

ПАО «Сегежа Групп» - один из крупнейших российских вертикально-интегрированных холдингов с полным циклом лесозаготовки и глубокой переработки древесины, а также ведущий международный лесопромышленный холдинг [3].

При анализе для каждого торгового дня использовались следующие параметры:

- дата;
- цена открытия;
- максимальная и минимальная цена за день;
- цена закрытия;
- рассчитанное процентное изменение стоимости акций за день.

Полученные данные легли в основу анализа динамики акций и построения вероятностной модели.

Для построения модели необходимо ввести понятие «состояния», которое в данном исследовании отражает направление и интенсивность изменения цены акции за день. Каждому торговому дню присваивается одно из заранее определённых состояний в зависимости от величины процентного изменения (табл. 1).

Такая классификация позволяет перевести непрерывный ряд цен в дискретную последовательность, что делает возможным построение матрицы переходов и последующий анализ вероятностей изменения рыночного состояния.

Таблица 1

Классификация состояний цены акции

Диапазон изменения (%)	Состояние
< -5	Сильное падение
$[-5; -2)$	Падение
$[-2; -0,5)$	Слабое падение
$[-0,5; 0,5]$	Боковик
$(0,5; 2]$	Слабый рост
$(2; 5]$	Рост
> 5	Сильный рост

На основе присвоенных состояний можно построить матрицу количества переходов, которая отражает, сколько раз акция переходила из одного состояния в

другое за один торговый день. Для каждой пары состояний подсчитывается количество фактических переходов из исходного состояния в целевое.

После построения матрицы количества переходов следующим этапом является формирование матрицы вероятностей переходов. Для этого элементы каждой строки матрицы приводятся к относительным величинам путём деления на общее число случаев, когда акция находилась в соответствующем исходном состоянии. В результате каждая строка отражает распределение вероятностей перехода акции из текущего состояния в каждое из возможных состояний на следующий торговый день.

Использование построенной матрицы вероятностей переходов позволяет не только анализировать динамику акций на следующий день, но и проводить прогнозирование на более длительные периоды. Для этого применяется метод последовательного умножения матрицы переходов, что даёт возможность оценить вероятности нахождения акции в каждом состоянии через несколько торговых дней. В работе представлены примеры таких прогнозов: матрица вероятностей через два дня и на год (рис. 1).

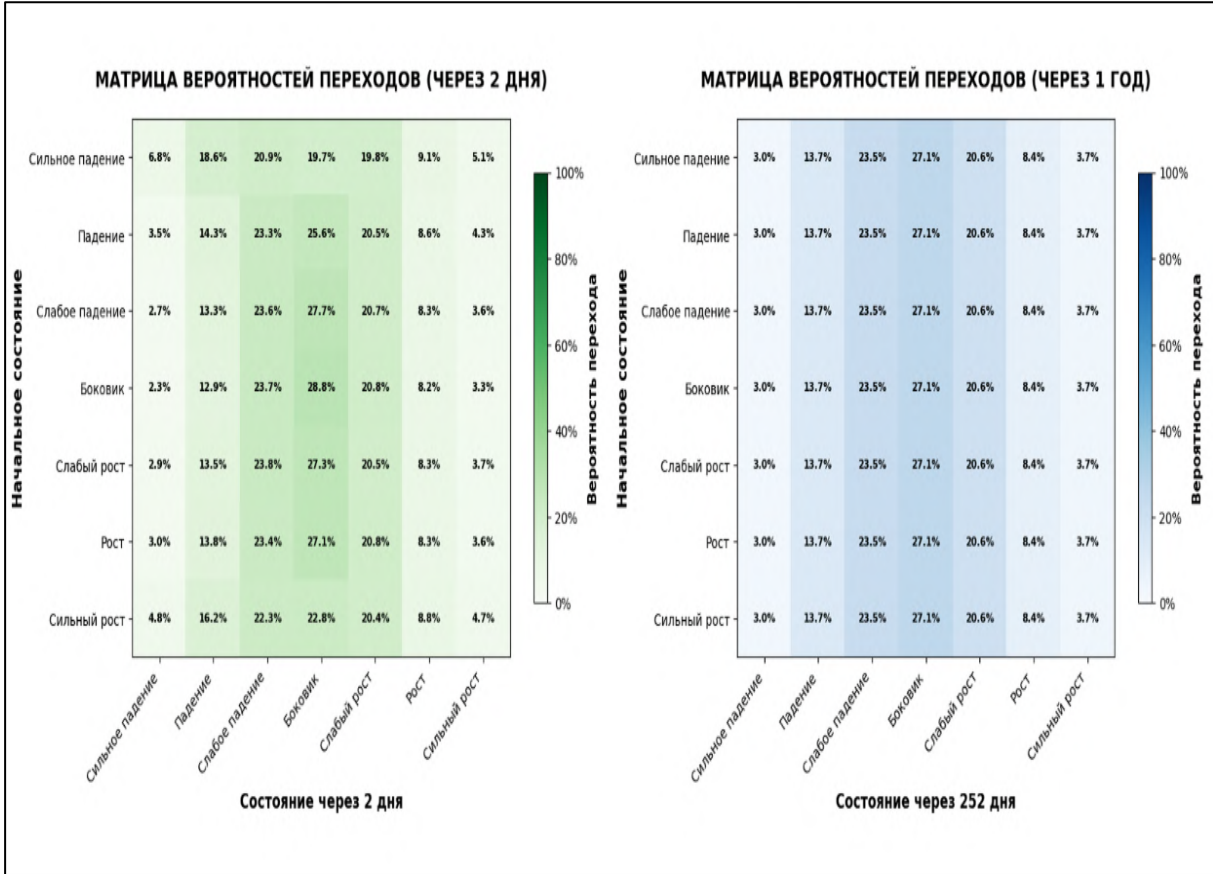


Рисунок 1. Матрицы вероятностей переходов для временных горизонтов 2 дня и 1 год.

На основе построенной модели проведён анализ динамики акций ПАО «Сегежа Групп». Рассмотрение текущей матрицы вероятностей показывает, что наибольшие шансы сохраняются для умеренных состояний, таких как «боковик», «слабое падение» и «слабый рост», тогда как экстремальные изменения («сильное падение» и «сильный рост») встречаются реже. Это свидетельствует о сравнительно умеренной волатильности акций компании в краткосрочной перспективе.

Прогнозирование на два дня вперёд демонстрирует некоторое выравнивание вероятностей, при котором влияние текущего состояния постепенно снижается, а

распределение становится более сбалансированным между соседними категориями. Долгосрочный прогноз на год показывает, что распределение вероятностей практически стабилизируется и становится практически одинаковым для всех исходных состояний. Это отражает, что через длительное время модель теряет чувствительность к исходным значениям, и прогноз следует воспринимать лишь как ориентировочную оценку вероятностной структуры рынка, а не как точное предсказание.

В целом, анализ матриц вероятностей позволяет сделать несколько ключевых выводов о поведении акций ПАО «Сегежа Групп»: в краткосрочной перспективе наиболее вероятны небольшие изменения и боковое движение, а экстремальные скачки цены маловероятны. Долгосрочные прогнозы на основе простой вероятностной модели имеют ограниченную точность, однако они дают полезную информацию о вероятностной структуре рыночных состояний и могут служить дополнительным инструментом для оценки устойчивости акций и планирования инвестиционной стратегии.

Библиографический список

1. Володин И.Н. Лекции по теории вероятностей и математической статистике. — Казань: (Издательство), 2006. — 271с.
2. График акций «Сегежа Групп» [Электронный ресурс] // *TradingView*. — URL: <https://ru.tradingview.com/chart/e6oYXsE3/?symbol=RUS%3ASGZH/> (дата обращения: 03.11.2025).
3. Официальный сайт ПАО «Сегежа Групп». – Текст электронный // ПАО «Сегежа Групп»: [сайт] – URL: <https://segezha-group.com/> (дата обращения: 09.11.2025).
4. Рыжкова Т. В. Цепь Маркова, моделирующая изменения в клиентской базе // Вестник РЭА. — 2008. — № 3. — С. 83–95.

МОДЕЛЬ СОТРУДНИЧЕСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИИ И КИТАЯ: ОПЫТ КОМПАНИИ «ГРУППА «ИЛИМ»

Пугачев М.А., Захаренкова И.А.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

THE MODEL OF COOPERATION BETWEEN PULP AND PAPER ENTERPRISES OF RUSSIA AND CHINA: THE EXPERIENCE OF COMPANIE «ILIM GROUP»

Pugachev M. A., Zakharenkova I.A.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. В статье рассмотрены современные аспекты взаимодействия между целлюлозно-бумажными предприятиями России и Китая на примере крупной целлюлозно-бумажной компании «Группа «Илим». Исследованы ключевые факторы современного состояния отрасли, определены направления сотрудничества с Китаем. Проведен анализ важнейших направлений экспорта по международным российско-китайским проектам «Группы «Илим», определены тенденции дальнейшего сотрудничества в рамках совместной модели устойчивого промышленного взаимодействия и отмечена важность комплексного подхода как основы роста и конкурентоспособности целлюлозно-бумажной промышленности обеих стран.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажные предприятия, управление, инновационное развитие, инвестиции, проекты, экспорт, переработка древесины, эффективность.

Abstract. The article examines modern aspects of interaction between pulp and paper enterprises in Russia and China using the example of the large pulp and paper holding company ILIM Group of Companies. The key factors of the current state of the industry have been investigated, and areas of cooperation with China have been identified. The analysis of the most important export directions for international Russian-Chinese projects of the ILIM Group of Companies was carried out, the trends of further cooperation within the framework of a joint model of sustainable industrial cooperation were identified, and the importance of an integrated approach as the basis for the growth and competitiveness of the pulp and paper industry in both countries was noted.

Keywords: pulp and paper enterprises, management, innovative development, investments, projects, exports, wood processing, efficiency.

Мировая целлюлозно-бумажная отрасль переживает период серьёзных изменений. Вслед за санкционным давлением снизилась инвестиционная активность, а следовательно, и инновационная, технологическая активность, то есть наметилась тенденция постепенного нарушения и разрушения цепочек создания добавленной стоимости [1]. Такие особенности, как геополитические факторы, деглобализация торговли, тарифные ограничения и рост издержек на сырьё формируют новые условия конкуренции. Сокращение мощностей по производству *BSKP* (от англ. *Bleached Softwood Kraft Pulp* — отбелённая хвойная целлюлоза), рост цен на древесину в Европе и зависимость Китая от импорта усиливают значимость стран, обладающих устойчивой сырьевой базой.

Россия обладает более, чем 20% мировых запасов леса, и остаётся естественным партнёром для азиатских производителей целлюлозы и бумаги. Доступ к редким хвойным породам, система контроля и прозрачности сделок с древесиной (*Les-EGAIS*),

территориальная близость и развитая транспортная инфраструктура, возможность расчётов в национальных валютах, активное развитие кооперации в смежных областях — от химии и логистики до машиностроения – вот ключевые преимущества российского лесопромышленного комплекса. Благодаря этому Россия закрепила за собой статус главного поставщика сырья и полуфабрикатов для китайской бумажной промышленности. Это особенно важно в условиях нехватки древесины в других регионах мира.

Совместные проекты России и Китая в лесопромышленном комплексе стабильно развиваются от традиционного экспортно-импортного обмена к более глубокому взаимодействию. Всё большую роль играет создание производственных цепочек, локализация оборудования, совместные исследования и внедрение «зелёных» технологий. Такой формат партнёрства способствует расширению экспорта и одновременно стимулирует развитие технологического уровня российских предприятий.

Одним из примеров долгосрочного и устойчивого сотрудничества является деятельность АО «Группа «Илим» - крупного холдинга, который начиная с конца 1990-х годов грамотно выстраивает поставки и инвестиционные программы, ориентированные на укрепление позиций на китайском рынке.

Сегодня АО «Группа «Илим» — самый крупный производитель целлюлозно-бумажной продукции в России и ведущая фигура мировой отрасли. Компания состоит из трех крупных целлюлозно-бумажных комбинатов — в Братске, Усть-Илимске и Коряжме, и двух предприятий, специализирующихся на производстве гофроупаковки. Площадь арендуемых лесных участков превышает 8,5 млн гектаров, при этом объем расчетной лесосеки составляет 18,6 млн м³ древесины.

В 2024 году был зафиксирован объем производства, насчитывающий 3,9 млн тонн продукции, включая *KLB* (от англ. *Kraft Liner Board* — крафтлайнер), *UKP* (от англ. *Unbleached Kraft Pulp* — небеленая крафт-целлюлоза) и *BSKP* .

География поставок [3]:

- 37 % продукции продается на внутреннем рынке России и стран СНГ;
- 56 % экспортируется в Китай;
- 3 % - в другие страны Азии;
- 2 % - в регион MENA (Ближний Восток и Северная Африка);
- менее 1% — в остальные страны мира.

Исходя из данной информации можно сделать вывод, что основным внешним рынком сбыта компании является Китай. Что подтверждает стратегическую ориентацию компании на азиатский рынок.

В последнее время российский целлюлозно-бумажный экспорт продемонстрировал устойчивый рост, при этом на Китай приходится более 60% от общего объема поставок. По данным Федеральной таможенной службы и базы UN Comtrade, экспорт из России в Китай увеличился с \$0,75 млрд в 2010 году до \$2 млрд в 2024 г. (рис. 1) [4].

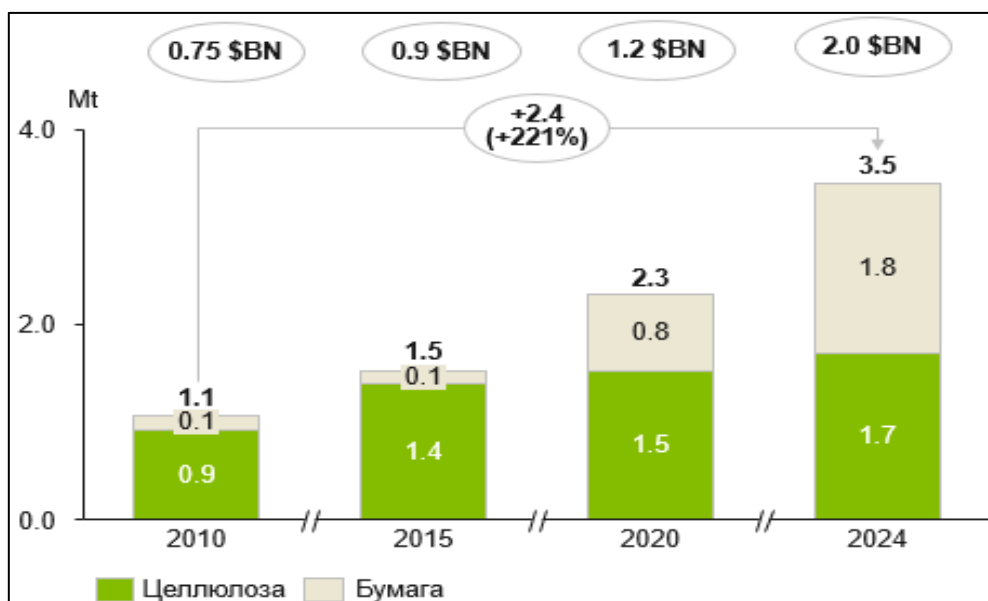


Рисунок 1. Экспорт целлюлозы и бумаги из России в Китай

Ключевыми проектами считаются [2]:

- новая линия по производству *BSKP* в Братске мощностью 720 тыс. тонн в год;
- новая бумагоделательная машина в Коряжме на 240 тыс. тонн печатных бумаг;
- модернизация мощностей в Сибири — дополнительно +110 тыс. тонн *KLB* и +100 тыс. тонн *BSKP*;
- новый завод в Усть-Илимске — +630 тыс. тонн *KLB*.

Общий объём производственных мощностей компании за последние 10 лет увеличился более чем на 80%, что позволило АО «Группа «Илим» стать лидером по поставкам *KLB* и *UKP* и значимым поставщиком *BSKP* в Китае [2].

Главный фактор успеха АО «Группа «Илим» основан на интегрированной модели, что обеспечивает качество, эффективность и постоянство поставок для партнёров. Сотрудничество России и Китая в целлюлозно-бумажной промышленности не ограничено рамками торговой модели. В данный момент ведется переход к индустриальной кооперации, включающей совместные инвестиции и развитие новых технологий.

Основными направлениями дальнейшего взаимодействия являются [3]:

- строительство нового завода по производству хвойной целлюлозы (*Greenfield-проект*), ориентированного на экспорт в Азию;
- развитие лесохимической продукции;
- производство пиломатериалов и древесно-плитных изделий, имеющих большой спрос на рынке Китая;
- производство оборудования и запасных частей из России китайскими компаниями;
- независимость в валютных ограничениях путем финансирования в юанях (*CNY*).

Такие направления выстраивают фундамент для долгосрочных отношений рынков и повышают устойчивость отрасли в условиях внешнеэкономических рисков.

Для российского лесопромышленного комплекса целлюлозно-бумажная промышленность выступает драйвером экономического роста, направленным как на экспорт, так и на полный цикл переработки древесины. Отрасль постепенно переходит от сырьевой модели к производству готовых продуктов и полуфабрикатов.

Для Китая сотрудничество с российским ЛПК представляет особую ценность: страна непрерывно получает качественное сырье, прежде всего хвойную целлюлозу. В условиях дефицита древесины бумажная промышленность Китая имеет возможность стабилизировать производство, снизить зависимость от импорта из Европы и Северной Америки и обеспечить развитие совместных экологических проектов. Партнёрство с Россией органично вписывается в стратегию Китая «Один пояс — один путь», направленную на укрепление торгово-промышленных связей и создание устойчивой сырьевой базы на северном направлении.

АО «Группа «Илим» является наглядным примером успешной адаптации к современной экономической ситуации. Богатая сырьевая база, встроенная в систему производства, и создание долгосрочных отношений с Китаем – опора компании, которая привела ее не только к сохранению позиций, но и к наращиванию объемов производства в условиях санкций. А её инвестиционные проекты в сторону восточного рынка способствуют укреплению международного авторитета целлюлозно-бумажной отрасли России в целом.

Современное развитие лесопромышленного комплекса в таких направлениях, как экологизация, технологическое усовершенствование и международное объединение, открывает новые горизонты для обеих стран. Для России — возможность перехода от традиционного сырьевого экспорта к производству продукции глубокой переработки с высокой добавленной стоимостью. Для Китая — возможность стабильного роста его бумажной промышленности благодаря обеспечению постоянного и надежного доступа к кочевому сырью.

Вместе Россия и Китай воплощают модель устойчивого промышленного взаимодействия, которая сочетает в себе экономическую эффективность, социальную значимость и экологическую ответственность. Пример деятельности АО «Группа «Илим» подтверждает: именно комплексный подход — от рационального использования ресурсов до внедрения технологических инноваций — становится фундаментом роста и конкурентоспособности целлюлозно-бумажной промышленности обеих стран.

Библиографический список

1. Внешнеэкономическая деятельность предприятий: учебное пособие. — Москва : Дело РАНХиГС, 2021. — 248 с. — ISBN 978-5-8180-0604-8. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/466277> (дата обращения: 05.11.2025).
2. Журнал Группы «Илим». — № 1 («Корпорация 2025»). — Братск : Группа «Илим», 2025. — 20 с. — Текст: печатный. С. 13-16 (дата обращения: 04.11.2025).
3. ЦБП России: перспективы и возможности // ИЛИМ: официальный сайт. — 2024. - URL: <https://www.ilingroup.ru/press-tsentr/detail/tsbp-rossii-perspektivy-i-vozmozhnosti/> (дата обращения: 05.11.2025).
4. Федеральная таможенная служба России: официальный портал. — URL: <https://edata.customs.ru/FtsPersonalCabinetWeb2017/> (дата обращения: 04.11.2025).

*Секция «Современные информационные технологии
в лесном комплексе»*

**РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ НА PYTHON
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ АКЦИЙ КОМПАНИИ «СЕГЕЖА
ГРУПП» МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО**

Абрамова Д.А., Васильев М.А., Хабаров С.П.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

**DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF A PYTHON MODULE FOR MODELING
THE STOCK DYNAMICS OF THE «SEGEZHA GROUP»
USING THE MONTE CARLO METHOD**

Abramova D.A., Vasiliev M.A., Khabarov S.P.

Saint Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. В работе представлена разработка и верификация программного модуля на языке Python, предназначенного для анализа, стохастического моделирования динамики акций компании «Сегежа Групп» методом Монте-Карло. На основе исторических данных за период 2021–2025 гг. реализована система, включающая автоматическую обработку данных, расчёт логарифмических доходностей и симуляцию 10 000 траекторий цен. Модель протестирована на данных до 2024 года, что позволило оценить точность прогнозирования цен на 2025 год. Результаты подтвердили высокую сходимость модели с реальными данными и эффективность предложенного алгоритма.

Ключевые слова: Python; метод Монте-Карло; моделирование; финансовый анализ; Сегежа Групп; верификация модели.

Abstract. The paper presents the development and verification of a Python-based software module designed for stochastic modeling of Segezha Group stock dynamics using the Monte Carlo method. Based on historical data from 2021 to 2025, the system performs automated data preprocessing, logarithmic return calculation, and simulation of 10 000 price trajectories. The model was tested on data up to 2024 to evaluate forecast accuracy for 2025. Results demonstrated a high degree of convergence between simulated and actual prices, confirming the reliability of the proposed algorithm.

Keywords: Python; Monte Carlo method; modeling; financial analysis; Segezha Group; model verification.

Современные цифровые технологии позволяют реализовывать сложные стохастические модели в среде Python, объединяя математическую строгость и визуальную наглядность [2]. Метод Монте-Карло, основанный на генерации случайных сценариев развития, широко применяется для анализа финансовых инструментов и оценки рисков [1].

Целью работы является разработка и программная реализация стохастического модуля для анализа акций компании «Сегежа Групп», а также проверка точности модели путём сравнения прогнозов, полученных по данным до 2024 года, с фактическими значениями 2025 года.

Исторические данные котировок акций компании «Сегежа Групп» были получены с платформы TradingView и охватывают период с 28 апреля 2021 г. по 3 ноября 2025 г.

[4]. Данные содержали поля: дата, цена открытия, максимум, минимум, цена закрытия (табл. 1).

Таблица 1

Пример фрагмента исходных данных

Дата	Цена открытия	Максимум	Минимум	Цена закрытия
28.04.2021	8.10	8.10	7.80	7.97
29.04.2021	8.00	8.00	7.88	7.90
30.04.2021	7.90	7.96	7.65	7.88

Разработанный модуль реализует четыре ключевых этапа анализа. На первом этапе выполняется импорт и очистка данных, включая автоматическую диагностику качества, преобразование форматов дат и выявление выбросов в ценовых рядах. Особое внимание уделено разработке универсального парсера, способного обрабатывать различные форматы временных меток.

Второй этап предполагает расчет логарифмических доходностей на основе исторических цен закрытия. Полученный ряд служит основой для оценки параметров модели - годовой доходности и волатильности [2].

Третий этап представляет собой ядро системы - стохастическую симуляцию методом Монте-Карло (рис. 1). На основе оцененных параметров генерируется 10 000 ценовых траекторий на горизонте 252 торговых дня [3]. Реализация использует векторизованный подход с библиотекой NumPy, что обеспечивает высокую производительность вычислений.

```
# Генерация всех случайных величин сразу
Z = np.random.standard_normal((days, num_simulations))

# Векторизованный расчет путей цен
price_paths = np.zeros((days, num_simulations))
price_paths[0] = current_price

# Расчет дрейфа и волатильности
drift = (mu_annual - 0.5 * sigma_annual**2) * dt
volatility = sigma_annual * np.sqrt(dt)

# Расчет всех путей одновременно
for t in range(1, days):
    price_paths[t] = price_paths[t-1] * np.exp(drift + volatility * Z[t])
```

Рисунок 1. Векторизованная реализация метода Монте-Карло

На заключительном этапе выполняется анализ результатов и визуализация данных. Модуль автоматически рассчитывает комплекс метрик риск-доходности, включая Value at Risk, доверительные интервалы и показатели просадок, с представлением результатов в виде интерактивных графиков и структурированного отчета.

Проведенное моделирование на полном периоде данных (2021–2025 гг.) показало следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2

Результаты моделирования на полном периоде (2021–2025)

Параметр	Значение
Средняя годовая доходность	–40,9 %
Годовая волатильность	47,3 %
Средняя прогнозная цена через год	0,77 Р
Вероятность роста	13,4 %
Value at Risk (95 %)	72,7 %

Для проверки прогнозной силы модели был проведен ретроспективный анализ на усеченной выборке данных (табл. 3).

Таблица 3

Результаты проверки точности модели (обучение до 2024 года)

Показатель	Значение
Период обучения	28.04.2021 – 02.11.2024
Текущая цена (на момент обучения)	1,731 Р
Средняя годовая доходность (μ)	–43,9 %
Годовая волатильность (σ)	45,3 %
Средняя прогнозная цена на 2025 г.	1,11 Р
Фактическая цена в 2025 г.	1,17 Р
Отклонение прогноза	≈ 5 %

Совпадение фактической и прогнозной цены в пределах 5 % свидетельствует о высокой точности модели и корректности оценки волатильности.

Программный модуль позволяет автоматизировать весь цикл анализа: от очистки данных до визуализации результатов. Ключевые достоинства разработки: модульная архитектура и универсальный парсер дат, векторизация расчётов для ускорения

симуляций, интеграция анализа риск-доходности (VaR, просадки), автоматическая оценка точности прогнозов.

Разработанный программный модуль на Python успешно смоделировал динамику акций компании «Сегежа Групп» и показал высокую точность прогнозирования. Сравнение результатов симуляции на основе данных до 2024 года с фактическими ценами 2025 года показало отклонение менее 5 %. Модель может быть использована для оценки волатильности и риск-менеджмента в финансовых исследованиях. В дальнейшем предусматривается создание графического интерфейса и подключение к API для автоматического обновления данных.

Библиографический список

1. Дымов А.В., Хохлов А.В. Теория вероятностей — 24. МатФак ВШЭ, 21 декабря 2024 г. — 103 с.
2. Макшанов А.В., Мусаев А.А. Стохастическое моделирование: учебное пособие для вузов. — СПб.: Издательство «Лань», 2021. — 128 с.
3. Раменская А.В., Пивоварова К.В. Метод Монте-Карло и инструментальные средства его реализации: методические указания. — Оренбург: ОГУ, 2018. — 58 с.
4. TradingView. График акций «Сегежа Групп» [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.tradingview.com] (https://ru.tradingview.com).

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ

Бабиков Е.И.

Научный руководитель Колмогорова С.С.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

FEATURES OF USING SATELLITE SYSTEMS IN FOREST AREAS

Babikov E. I.

Scientific supervisor Kolmogorova S. S.

Saint-Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Спутниковые технологии стали неотъемлемой частью современного лесного хозяйства, обеспечивая мониторинг лесов, навигацию техники и связь в удалённых районах. Однако эффективность этих систем напрямую зависит от качества принимаемого спутникового сигнала, который в условиях леса может быть ослаблен или искажён. Умение оценивать и контролировать этот сигнал является критически важным для обеспечения как операционной эффективности, так и безопасности работников. Целью работы является анализ принципов и особенностей настройки спутниковой связи, а также возникающих в процессе работы трудностей и факторов, влияющих на качество сигнала в лесной зоне.

Ключевые слова: системы спутниковой связи, мониторинг лесов, лесное хозяйство, условия леса, использование спутниковых систем.

Abstract. Satellite technologies have become an integral part of modern forestry, providing forest monitoring, equipment navigation and communication in remote areas. However, the effectiveness of these systems directly depends on the quality of the received satellite signal, which can be weakened or distorted in forest conditions. The ability to assess and control this signal is critical to ensuring both operational efficiency and worker safety. The aim of this work is to analyse the principles and features of satellite communication configuration, as well as the difficulties that arise during operation and the factors that affect signal quality in forest areas. **Keywords:** satellite communication systems, forest monitoring, forestry, forest conditions, satellite systems.

Введение. В настоящее время в различных областях спутниковые системы связи играют важную роль. В реалиях лесозаготовочной зоны очень трудно поймать связь, сёла и города находятся за десятки, а то и сотни километров. Спутниковые системы связи помогают решить эту проблему, обеспечивая интернет, телефонию и возможность передавать и получать различные данные. Также эти системы полезны и для людей, которые живут в городах и деревнях, передвигаются на поезде или на машине, путешествуют и выезжают на природу, где нет связи. Но у них есть возможность развернуть свою систему и пользоваться связью даже в самых отдалённых уголках нашей планеты.

Прикладные задачи лесного мониторинга и типы применяемых спутниковых систем на рис. 1. Мониторинг вырубки и изменение покрова следующие подходы: Near-real-time мультисенсорные алгоритмы используют Sentinel-2, Landsat-8 и Sentinel-1 для ежедневных/еженедельных карт изменений. В результате – операционные системы на основе L-band SAR обеспечивают детекции с показателями точности выше 80% в

Амазонии в рамках JJ-FAST. В детекция и мониторинг пожаров следующее: GNSS-R и ML – использование GNSS-reflectometry с алгоритмами машинного обучения показано применимым для обнаружения нарушений леса, связанных с пожарами, в практическом кейсе. Оптика и индексные методы: Sentinel-2 применяется для картирования плотности растительности и детекции ожогов при наличии облачного окна. Инвентаризация и картирование растительности 3D-структура: космическое дистанционное зондирование даёт распределение и трёхмерную структуру лесов, используемую в инвентаризациях и классификации типов леса. Оценка биомассы – GNSS-R подтяжка к AGB: простые корреляции GNSS-R с биомассой показывали R от ~ 0.31 до 0.54 , а комбинированные ANN-методы обеспечивали корреляции извлечённой биомассы около $R \approx 0.8$ в тестах

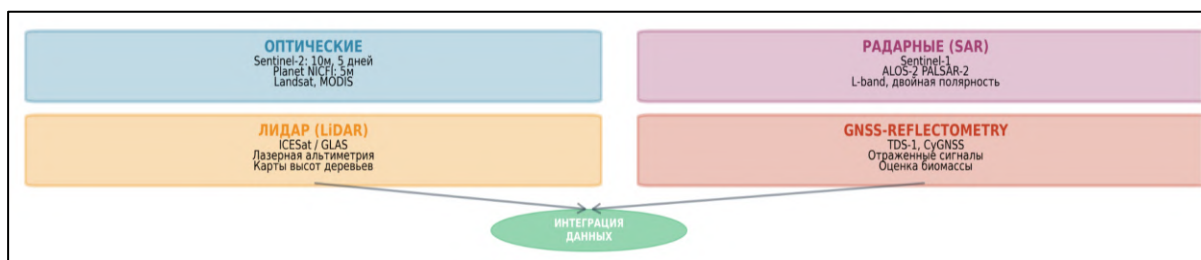


Рисунок 1. Типы спутниковых систем для лесного мониторинга

Использование спутниковых систем в лесных зонах произвело революцию в управлении лесами и мониторинге с помощью различных передовых технологий (рис. 2). Эти системы обеспечивают широкий охват и данные с высоким разрешением, что позволяет осуществлять эффективный мониторинг состояния лесов, обнаружение пожаров и инвентаризацию ресурсов.

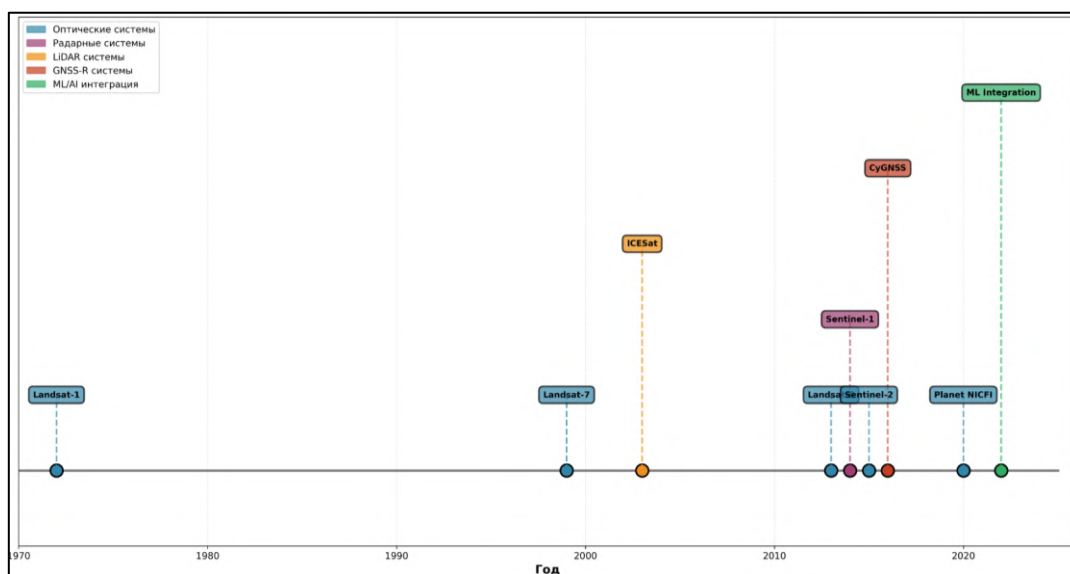


Рисунок 2. Эволюция спутниковых систем для лесного мониторинга

Спутниковые системы широко применяются в организации фрагмента технологической сети передачи данных между мобильными и неподвижными объектами в системе сбора данных с сенсорных элементов. [1, 2]. Спутниковое дистанционное зондирование играет ключевую роль в обнаружении лесных пожаров [3]. Использование инфракрасного сканирования позволяет выявлять горячие точки и устранять ложные тревоги, вызванные факторами окружающей среды. Анализ временных рядов повышает

точность обнаружения пожаров и позволяет отличить реальные лесные пожары от ложных горячих точек до 95,12% [4]. Спутниковые системы используются для картирования растительности, оценки риска пожаров и мониторинга показателей состояния лесов, таких как нашествие насекомых и водный стресс [5]. Спектрорадиометр среднего разрешения (MODIS) особенно эффективен благодаря частому сбору данных и широкому спектральному охвату.

Хотя спутниковые системы обеспечивают значительные преимущества в мониторинге лесов, проблемы остаются, например, необходимость совершенствования алгоритмов для дальнейшего повышения точности данных и интеграции различных источников данных для всестороннего анализа.

Подготовительный этап. В начале работы со спутниковой системой связи подбираются подходящее оборудование, с которым возможно настроить работу для тех или иных условиях. Также один из самых важных факторов успешной работы — это выбор правильной местности. Если зона, в которой мы работаем, с неподходящим рельефом или преимущественно заполнена лесом, то могут возникнуть проблемы. После подготовительного этапа стоит проработать план действий, что значительно поможет сэкономить время, а также предварительно выявить проблемы, с которыми можно столкнуться в ходе работы. Стоит позаботиться и о безопасности людей: одежда может зависеть от погодных условий, местности и целей. Если работа занимает много времени, стоит позаботиться о пропитании. Важно и беречь природу, сохраняйте её и не вредите ей, несмотря на то, какие цели вы преследуете в вашей работе.

Критические факторы. Одним из самых важных факторов является рельеф местности и её окружение, если мы расположились там, где есть овраги, холмы, лес с густыми кронами, то это может повлиять на сигнал, который мы будем передавать или получать. Также будет создавать эффект многопутности, когда сигнал сталкивается с препятствиями, искажается и доходит с задержкой до получателя. Погодные условия тоже влияют на сигнал, поскольку осадки, облачность и ветер рассеивают и поглощают радиоволны, а сильные ветра могут физически сместить антенны. Снег и лёд на антенне могут снизить качество сигнала или вызвать полную его потерю, а грозы и высокая влажность создают электрические помехи.

Практическая часть. После того, как мы прошли подготовительный этап, разобрали возможные проблемы и критические факторы, мы выезжаем в зону, в которой будем работать. Погода должна быть ясной, местность чистой и плоской. Достаём оборудование, раскладываем его и подключаем всю систему. У каждого прибора должна быть документация, по ней мы смотрим исправность оборудования и правильную работу. Для того, чтобы настроить антенну (находим азимут и угол горизонта), нам надо найти спутник, с чем нам поможет мобильное приложение SatFinder. Функционал приложения достаточно прост, поэтому каждый должен разобраться в нём. После того, как нашли подходящий спутник, настраиваем антенну и ждём связи со спутником.

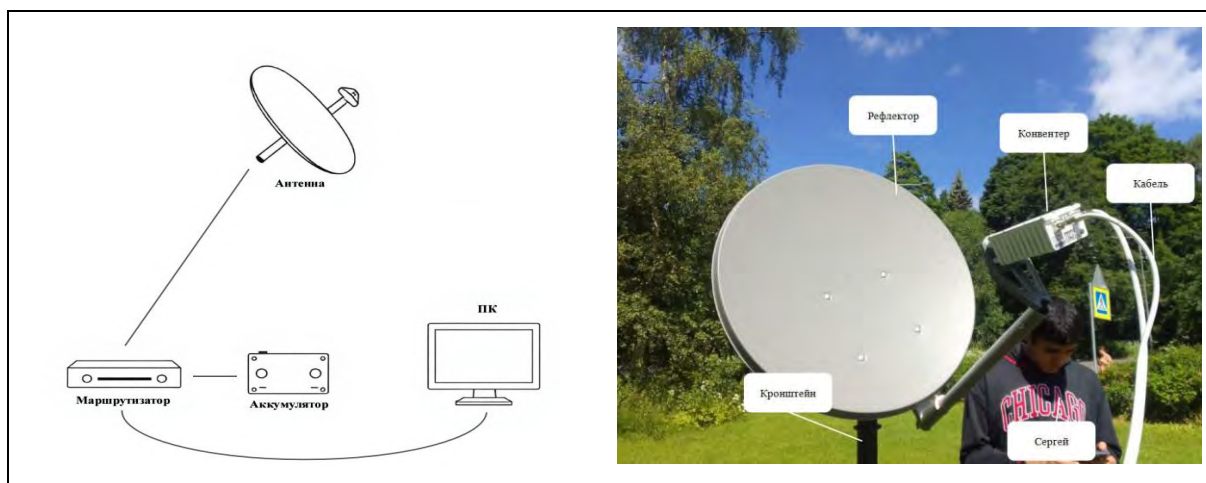


Рисунок 3. Схема и пример подключения спутниковой системы

Выводы и заключение. Результаты проведённого исследования позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Спутниковые системы как критически важный инструмент лесного хозяйства

Проведённый анализ подтверждает, что спутниковые системы связи представляют собой незаменимый инструмент для эффективного управления лесными ресурсами в удалённых и труднодоступных регионах. Эти системы обеспечивают не только коммуникацию между мобильными и стационарными объектами, но и формируют основу для реализации комплексного мониторинга лесных экосистем, включая раннее обнаружение лесных пожаров, инвентаризацию ресурсов и оценку фитосанитарного состояния лесов. В частности, применение спутникового дистанционного зондирования в сочетании с анализом временных рядов позволяет достичь точности обнаружения пожаров до 95,12%, что существенно повышает эффективность противопожарных мероприятий и снижает риск катастрофических потерь лесных ресурсов.

2. Многофакторное влияние природных и техногенных условий на качество спутникового сигнала в лесной среде

Исследование выявило, что качество спутникового сигнала в условиях лесной зоны подвергается комплексному воздействию как стационарных географических факторов, так и динамических погодно-климатических условий. К числу критических факторов, ограничивающих качество приёма и передачи, относятся:

- пространственные факторы: рельеф местности (овраги, холмы), густота лесного полога и растительность создают эффект многопутности, при котором радиосигнал испытывает многократное отражение, рассеяние и дифракцию, что приводит к искажению и задержке сигнала;

- гидрометеорологические факторы: осадки, облачность и высокая влажность поглощают и рассеивают радиоволны, а механическое воздействие ветра может смещать ориентацию антенн; особую опасность представляют обледенение и снежные образования на антеннах, вызывающие полную потерю сигнала;

- электромагнитные помехи: грозовая активность и локальные источники электромагнитного излучения создают дополнительные помехи, критически снижающие отношение сигнал-шум.

3. Системный подход к подготовке и настройке спутниковых систем как условие успешной работы

Результаты практических испытаний подтверждают, что успешное развёртывание и функционирование спутниковых систем в лесной зоне требует комплексного подхода,

включающего несколько взаимосвязанных этапов. Подготовительный этап должен включать: тщательный выбор оборудования, соответствующего климатическим и техническим условиям конкретного региона; предварительную топографическую оценку территории работ с целью выявления оптимальных участков установки антенных систем; разработку детального плана операций, учитывающего прогноз погодных условий и сезонные особенности. Критическое значение имеет соблюдение требований техники безопасности и экологических норм при проведении полевых работ.

4. Практическая методология настройки и калибровки спутниковых антенн

В ходе практических работ установлено, что эффективная настройка антенны требует точного определения ориентационных параметров – азимута и угла горизонта – в соответствии с параметрами целевого спутника. Использование специализированного программного обеспечения (приложение SatFinder) значительно упрощает процесс идентификации спутников и обеспечивает достаточную точность для начальной ориентации антенной системы. Процедура должна выполняться в условиях, максимально благоприятных для приёма сигнала (ясная погода, открытое пространство, свободный от препятствий горизонт), с обязательной проверкой функциональности всех компонентов системы согласно технической документации.

Проведённое исследование особенностей использования спутниковых систем в лесной зоне демонстрирует, что данные технологии имеют высокий потенциал для комплексного решения задач управления, мониторинга и защиты лесных ресурсов в удалённых и труднодоступных регионах. В то же время эффективное применение спутниковых систем в условиях лесной среды требует учёта множества физических факторов, влияющих на качество передачи данных, и соблюдения строгой методологии подготовки и настройки оборудования.

Практическое значение исследования состоит в том, что предложенная методология подготовительных работ, анализ критических факторов и пошаговые рекомендации по настройке антенных систем могут быть адаптированы для практического применения в различных регионах лесного хозяйства, особенно в условиях Сибири и Дальнего Востока, где удалённость и сложность ландшафта составляют серьёзные препятствия для традиционных систем коммуникации.

В перспективе целесообразно развитие исследований в следующих направлениях:

- детальное картирование зон слабого приёма спутникового сигнала в различных типах лесных экосистем с использованием методов ГИС-анализа;
- разработка адаптивных алгоритмов коррекции сигнала для повышения помехоустойчивости спутниковых систем в условиях лесной среды;
- интеграция спутниковых систем связи с беспроводными сенсорными сетями для создания гибридных систем мониторинга лесных экосистем;
- оптимизация энергетических параметров наземных станций для обеспечения надёжной работы в экстремальных климатических условиях;
- разработка рекомендаций по сертификации и стандартизации спутниковых систем, используемых в лесном хозяйстве, с учётом специфических требований российских лесных регионов.

Полученные результаты и методологические подходы могут быть полезны как для научных исследований в области спутниковых коммуникаций, так и для практической деятельности лесохозяйственных предприятий и служб охраны лесов при организации систем мониторинга и управления лесными ресурсами.

Библиографический список

1. Автоматизация обработки сигналов датчиков напряженности электрического поля, входящих в информационноизмерительную систему / С. С. Колмогорова, Д. С. Баранов, А. С. Колмогоров, С. В. Бирюков // Омский научный вестник. – 2019. – № 4(166). – С. 66-70. – DOI 10.25206/1813-8225-2019-166-66-70. – EDN IBOAUG.
2. Колмогорова, С. С. Реализация технологии «издатель/подписчик» для организации взаимодействия движущихся и стационарных объектов / С. С. Колмогорова, И. В. Захаров // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2024. – № 3(63). – С. 43-52. – DOI 10.25686/2306-2819.2024.3.43. – EDN BTUECP.
3. Zuji, Q., and Jun, Q., Forset and glassland fire early warning system, issued February 21, 2001.
4. Wang H., Gui Z. Satellite Remote Sensing False Forest Fire Hotspot Excavating Based on Time-Series Features // Remote sensing. 2024. № 13 (16). p. 2488.
5. Wang J. [и др.]. Review of Satellite Remote Sensing Use in Forest Health Studies // The Open Geography Journal. 2010. № 1 (3).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Васильев М.А., Баланин Э.Н., Хабаров С.П.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ANT COLONY OPTIMIZATION FOR MACHINE LEARNING HYPERPARAMETERS

Vasiliev M.A., Balanin E.N., Khabarov S.P.

Saint-Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. В статье исследуется применение муравьиного алгоритма (ACO) для подбора гиперпараметров машинного обучения. Проведен сравнительный анализ пяти методов оптимизации, который показал, что ACO обеспечивает точность 0.8983, идентичную полному перебору (Grid Search), при этом время работы сокращается в 3 раза (91.59 с против 277.58 с). Эффективность ACO обусловлена возможностью распараллеливания вычислений, интеллектуальным механизмом феромонов и балансом между исследованием и использованием. Алгоритм рекомендован для задач, требующих высокого качества моделей и минимального времени обучения. Перспективы работы включают расширение спектра тестируемых алгоритмов машинного обучения и метрик оценки.

Ключевые слова: Муравьиный алгоритм, ACO, подбор гиперпараметров, машинное обучение, оптимизация, сравнительный анализ, распараллеливание.

Abstract. This paper explores the use of the ant colony optimization algorithm (ACO) for machine learning hyperparameter selection. A comparative analysis of five optimization methods revealed that ACO provides an accuracy of 0.8983, identical to a complete search (Grid Search), while reducing the running time by a factor of 3 (91.59 s versus 277.58 s). ACO's effectiveness is due to its parallelizability, intelligent pheromone mechanism, and balance between exploration and exploitation. The algorithm is recommended for problems requiring high-quality models and minimal training time. Future research prospects include expanding the range of machine learning algorithms and evaluation metrics tested.

Keywords: Ant colony optimization, ACO, hyperparameter selection, machine learning, optimization, comparative analysis, parallelization.

В современном машинном обучении качество моделей критически зависит не только от выбора алгоритма и подготовки данных, но и от оптимальной настройки гиперпараметров. Гиперпараметры представляют собой конфигурационные параметры, которые управляют процессом обучения модели и не могут быть изучены непосредственно из данных [1].

В практике машинного обучения сложилось несколько основных подходов к подбору гиперпараметров, которые можно условно разделить на три категории: простые методы, интеллектуальные методы и био-вдохновленные алгоритмы [2]. Простые методы включают в себя полный перебор (Grid Search) и случайный поиск (Random Search). Полный перебор систематически проверяет все возможные комбинации гиперпараметров из заданной сетки, что гарантирует нахождение оптимального решения в пределах этой сетки, однако требует значительных вычислительных ресурсов и

времени. Случайный поиск проверяет случайные комбинации параметров из заданных распределений, что часто оказывается более эффективным чем полный перебор, особенно в ситуациях, когда лишь немногие параметры действительно важны для конечного качества модели.

К интеллектуальным методам относятся байесовская оптимизация и градиентные методы. Байесовская оптимизация строит вероятностную модель целевой функции и использует ее для выбора наиболее перспективных гиперпараметров, что позволяет достигать хороших результатов за меньшее количество итераций. Градиентная оптимизация применяет методы градиентного спуска для настройки гиперпараметров там, где это возможно, используя информацию о производных целевой функции по параметрам.

Особую группу составляют био-вдохновленные алгоритмы, которые имитируют природные процессы и поведения живых организмов. Муравьиный алгоритм (ACO) воспроизводит поведение муравьиной колонии, где "муравьи" оставляют феромонные следы, привлекая других к перспективным областям пространства параметров [2].

Для сравнительного анализа эффективности различных методов подбора гиперпараметров был выбран метод опорных векторов (SVM) с радиально-базисной функцией (RBF) в качестве ядра. Данный алгоритм был выбран по нескольким причинам: во-первых, он обладает небольшим количеством гиперпараметров, что упрощает анализ результатов; во-вторых, эти гиперпараметры (коэффициент регуляризации C и параметр ядра γ) оказывают существенное влияние на качество модели; в-третьих, SVM широко применяется в реальных задачах классификации.

В качестве тестового набора данных использовались данные о кредитных заявках (loan_approval.csv) [1], содержащие информацию о доходах заявителей, кредитных историях, суммах запрашиваемых кредитов и других характеристиках. Целевой переменной являлся факт одобрения кредита. После предварительной обработки данных, включающей заполнение пропущенных значений, стандартизацию числовых признаков и кодирование категориальных переменных, набор данных был разделен на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70/30.

Были исследованы пять различных методов оптимизации гиперпараметров: полный перебор (Grid Search), случайный поиск (Random Search), байесовская оптимизация, градиентная оптимизация и муравьиный алгоритм (ACO). Качество моделей оценивалось по метрике accuracy на тестовой выборке, а также фиксировалось время работы каждого алгоритма (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная таблица результатов

Алгоритм оптимизации	Время выполнения (сек)	Точность (Accuracy)
Grid Search	277.58	0.8983
ACO	91.59	0.8983
Random Search	58.40	0.5633
Байесовская оптимизация	57.11	0.6700
Градиентная оптимизация	24.69	0.5500

Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность муравьиного алгоритма (АСО) для решения задачи подбора гиперпараметров машинного обучения. Сравнительный анализ пяти различных методов оптимизации выявил явное преимущество АСО как по точности получаемых моделей, так и по временным характеристикам.

Ключевой результат исследования заключается в том, что муравьиный алгоритм продемонстрировал точность 0.8983, идентичную показателю полного перебора (Grid Search), при этом время его работы составило всего 91.59 секунд против 277.58 секунд у Grid Search. Это означает, что АСО достиг оптимального результата в 3 раза быстрее exhaustive search. Такой значительный выигрыш в производительности обусловлен несколькими факторами. Во-первых, архитектура муравьиного алгоритма допускает эффективное распараллеливание вычислений - каждый "муравей" может независимо исследовать пространство параметров, что позволяет задействовать многопроцессорные системы. Во-вторых, механизм феромонов обеспечивает интеллектуальное направление поиска, избегая бесперспективных областей пространства гиперпараметров [2]. В-третьих, баланс между исследованием (exploration) и использованием (exploitation) позволяет алгоритму эффективно избегать локальных оптимумов.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для разработчиков систем машинного обучения. Муравьиный алгоритм может быть рекомендован как эффективный инструмент для настройки гиперпараметров в задачах, где критически важны как качество модели, так и время обучения. Особенно актуально его применение в средах с ограниченными вычислительными ресурсами и в системах реального времени.

Перспективы дальнейших исследований включают несколько направлений. Необходимо расширить спектр тестируемых алгоритмов машинного обучения, включив в сравнение глубокие нейронные сети, градиентный бустинг, методы кластеризации и рекуррентные нейронные сети. Также требуется исследовать эффективность АСО в сочетании с другими био-вдохновленными алгоритмами, такими как оптимизация роем частиц (PSO) и генетические алгоритмы [2]. Важным направлением является разработка адаптивных версий муравьиного алгоритма, способных автоматически настраивать параметры поиска в зависимости от характеристик конкретной задачи.

Для более комплексного анализа целесообразно создать расширенную сравнительную таблицу, включающую дополнительные метрики качества: F1-score, AUC-ROC, precision и recall, а также учитывающую потребление памяти и масштабируемость алгоритмов на больших объемах данных. Дальнейшие исследования должны также учитывать воспроизводимость результатов и устойчивость алгоритмов к шуму в данных.

В заключение можно утверждать, что муравьиный алгоритм представляет собой перспективный инструмент для автоматизации процесса настройки гиперпараметров, сочетающий высокую точность с вычислительной эффективностью. Его внедрение в практику машинного обучения может существенно сократить время разработки моделей без ущерба для их качества.

Библиографический список

1. Kaggle: Loan Approval Dataset [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kaggle.com/> (дата обращения: 05.11.2025).
2. Хабаров, С. П. Интеллектуальные системы и технологии Роевые алгоритмы: инновационные подходы к оптимизации : учебное пособие / С. П. Хабаров, А. М. Заяц — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2024. — 190 с. — ISBN 978-5-9239-1499-3.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛОГИСТИКЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОЙ ОТРАСЛИ

Еленская А.А., Колмогорова С.С.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

OPTIMIZATION OF TRANSPORT PROCESSES IN LOGISTICS AT FORESTRY INDUSTRY ENTERPRISES

Elenskaya A.A., Kolmogorova S.S.

Saint-Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Статья посвящена оптимизации процессов транспортной логистики предприятий лесопромышленного комплекса, рассмотрены уровни вовлеченности компаний в процесс управления и координации цепочек поставок, в соответствии с Международной классификацией, проанализированы проблемы роста интеллектуализации транспортной логистики.

Ключевые слова: логистика, транспортная логистика, бизнес-модель, целлюлозно-бумажная промышленность.

Abstract. The article is devoted to the optimization of transport logistics processes in forest industry enterprises, the levels of companies' involvement in the process of managing and coordinating supply chains are considered, in accordance with the International Classification, and the problems of increasing intellectualization of transport logistics are analyzed.

Keywords: logistics, transport logistics, business model, pulp and paper industry.

Транспортная логистика занимает ведущую роль в организации процесса поставки товара. На сегодняшний день процесс организации перевозок сложноструктурирован и включает в себя множество этапов, начиная от планирования транспортировки, заканчивая контролем качества осуществленной перевозки. Согласно [3] «транспортная логистика» – комплекс мероприятий, направленных на организацию оптимального движения товара от производителя к потребителю. Основными компонентами транспортной логистики выступают: планирование перевозок, организация перевозок, управление транспортом, контроль качества транспортировки. Транспортная логистика с течением времени претерпела ряд изменений – в организацию функционирования бизнес-процессов постепенно произошло внедрение информационных технологий: Big data, блокчейн, облачные технологии, электронная коммерция, Интернет вещей.

Организация логистической деятельности, в соответствии с Международной классификацией, может затрагивать пять уровней логистического сервиса (PL- party logistic, «сторона логистики») (табл. 1) [4, 6]. Уровень вовлеченности компании в процессы организации цепочки поставок отображается цифрой: 1 – компания является производителем, 4 – компания осуществляет управление практически всеми этапами цепочки поставок.

Таблица 1

Пять уровней логистического сервиса

Сервис	Особенности
1PL	Все операции по движению товара осуществляет фирма-производитель

Сервис	Особенности
2PL	На отдельном этапе цепочки поставок услуги транспортировки оказывает фирма-подрядчик
3PL	Аутсорсинг всех или большей части логистических процессов, посредничество в перевозке и складировании товаров
4PL	Управление цепочкой поставок (курьерские, экспедиторские, складские услуги) через фирму-подрядчик. Фирма-подрядчик выступает связующим звеном между производителем и операторами логистических услуг
5PL	«Виртуальная» логистика

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) придерживаются двух моделей ведения бизнеса B2B (Business-to-Business) и B2C (Business-to-Consumer) [1]. В первом случае, произведенная под заказ продукция реализуется компанией-заказчиком, во втором - конечным заказчиком (потребителем). Для наглядности приведем таблицу, сравнивающую две рассматриваемые бизнес-модели (табл.2).

Таблица 2

Сравнительный анализ B2B и B2C модели

Критерий	B2B - модель	B2C - модель
Цель	Получение прибыли	Удовлетворение потребностей
Категория покупателей	Компании	Частные лица
Стоимость контрактов	Высокая	Низкая, может носить разовый характер
Конкуренция	Низкая	Высокая
Назначение	Узкоспециализированное	Массовое производство
Факторы для заключения сделки	Цифры, надежность	Отзывы, сервис

Для большинства предприятий-производителей целлюлозно-бумажной продукции характерна B2B-модель, однако, Сысский целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК) использует B2C-модель, для хранения продукции задействован как собственный склад, так и складские площади, которые арендуются у компании «Открытая складская логистика», являющейся 3PL-провайдером [2].

Предприятия лесопромышленного сектора имеют довольно специфическую и узкоспециализированную область ведения экономической деятельности, но в то же время используют последние достижения в области информационных технологий и

техники для оптимизации бизнес-процессов. Интеллектуализация транспортной логистики происходит на всех этапах производства, начиная с изготовления изделия, заканчивая усовершенствованием процесса доставки. Однако, интеллектуализация приводит и к ряду проблем, замедляющих развитие логистики. Одной из проблем является терминологическая [5]. Зачастую под термином «интеллектуализация» понимают близкие по значению процессы компьютеризации, автоматизации, управления логистическими потоками. Другой проблемой является необходимость учета специфических особенностей логистических систем, функций и факторов их функционирования. Задачи интеллектуализации транспортной логистики могут быть подразделены на стратегические (разработка интеллектуальных логистических систем и решение логистических задач) и тактические (внедрение методов интеллектуальной обработки информации с применением комплексных методов транспортной логистики) [5].

Оптимизация процессов цепочки поставок зачастую обусловлена экономической составляющей. Предприятие-производитель за счет внедрения информационных технологий сокращает издержки на выпуск и транспортировку произведенной продукции, увеличивает скорость доставки произведенного товара до заказчика, повышает конкуренцию среди других производителей.

Библиографический список

1. Ившин Станислав Юрьевич, Терешкина Татьяна Руфьевна Тенденции в использовании логистического аутсорсинга в цепях поставок целлюлозно-бумажной продукции // *π-Economy*. 2015. №3 (221). – С. 84–95.
2. Ившин С. Ю., Михайлюк М. В. РЫНОЧНО-ОТРАСЛЕВЫЕ МАРКЕРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОДУКЦИИ В 2020-2021 ГГ // *Инновационная наука*. 2021. №12-1. – С. 36–42.
3. Куныгина, Л. В. Транспортная логистика: современные подходы к оптимизации транспортных процессов / Л. В. Куныгина // *Транспорт: наука, образование, производство ("Транспорт-2024")*: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Воронеж, 24–26 апреля 2024 года. – Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 114-119.
4. Карх Д.А., Лазарев В.А., Кондратенко И.С. Логистические услуги в цепи поставок: проблемы и перспективы // *Известия Уральского государственного экономического университета*. 2017. №3 (71). – С. 130–139.
5. Цветков, В. Я. Интеллектуализация транспортной логистики / В. Я. Цветков // *Железнодорожный транспорт*. – 2011. – № 4. – С. 38-40.
6. 3PL или 2PL, 1PL и 4PL — в чём разница и для чего они нужны // *YOLKA Цифровая экосистема логистических сервисов* URL: https://yolka.io/blog/3pl_ili_2pl_1pl_i_4pl_v_chjom_raznica_i_dlja_chego_oni_nuzhny (дата обращения: 10.11.2025).

АРХИТЕКТУРА ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ НА ГРАФАХ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ PROLOG И WEB-ТЕХНОЛОГИЙ

Краснощечекова Е.А.

Научный руководитель: Хабаров С.П.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

ARCHITECTURE OF A HYBRID SYSTEM FOR GRAPH OPTIMIZATION PROBLEMS BASED ON THE INTEGRATION OF PROLOG AND WEB TECHNOLOGIES

Krasnoshchekova E.A

Scientific supervisor: Khabarov S.P.

Saint-Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Статья посвящена исследованию архитектурных решений при построении гибридных систем, сочетающих декларативную парадигму программирования на языке Prolog с современными web-технологиями. На примере системы для решения задачи поиска кратчайшего пути в графах с использованием алгоритма муравьиной колонии демонстрируется целесообразность и преимущества такого подхода. Подробно анализируются компоненты системы, механизмы их взаимодействия и достигаемый эффект.

Ключевые слова: архитектура программных систем, Prolog, гибридные системы, web-технологии, алгоритм муравьиной колонии, оптимизация на графах.

Abstract. This article examines architectural approaches to building hybrid systems that combine the declarative programming paradigm of Prolog with modern web technologies. Using a system for solving the shortest-path problem in graphs with an ant colony optimization algorithm as an example, it demonstrates the feasibility and advantages of this approach. The system's components, the mechanisms of their interaction, and the resulting effect are analyzed in detail.

Keywords: software architecture, Prolog, hybrid systems, web technologies, ant colony optimization algorithm, graph optimization.

Введение. Современные задачи в области искусственного интеллекта и оптимизации требуют создания гибких и эффективных программных систем, способных сочетать различные парадигмы программирования. Особый интерес представляют гибридные архитектуры, объединяющие символьные вычисления с императивными подходами. Язык Prolog, являясь классическим представителем логического программирования, обладает выраженными преимуществами для работы с графами и реализации эвристических алгоритмов [1, 2]. Однако его использование в современных web-ориентированных системах остается недостаточно изученным.

В данной работе предлагается архитектура системы, где Prolog выступает в качестве вычислительного ядра, а взаимодействие с пользователем осуществляется через web-интерфейс. В качестве демонстрации реализации данного подхода рассмотрена система для решения задачи поиска кратчайшего пути с использованием алгоритма муравьиной колонии (Ant Colony Optimization - ACO).

Архитектура системы. Система построена по модульному принципу и включает три основных компонента: вычислительное ядро на языке Prolog, сервер приложений на базе SWI-Prolog и клиентский web-интерфейс на HTML/CSS/JavaScript (рис. 1).

Вычислительное ядро системы. Ключевым компонентом системы является модуль реализации алгоритма муравьиной колонии на языке Prolog. Выбор языка Prolog обусловлен следующими факторами:

- Естественность представления графов в виде набора фактов и правил:
`move(A, B) :- m(A, B); m(B, A).`
`edge(A, B, 1) :- m(A, B); m(B, A).`
- Декларативность описания алгоритма, которая четко отражает его логику:
`ant_colony(X0, Xn, It, N, K, A, B, Path) :- initialize_pheromones(P),`
`run_ants(I, N, X0, Xn, P, [], K, A, B, Path-Len).`
- Эффективная работа с символьными данными, позволяющая вести рекурсивную обработку путей и феромонных следов:
`ant_travel(X0, Xn, _, V, Path, Len, _, _) :- reverse(V, Path, Len).`

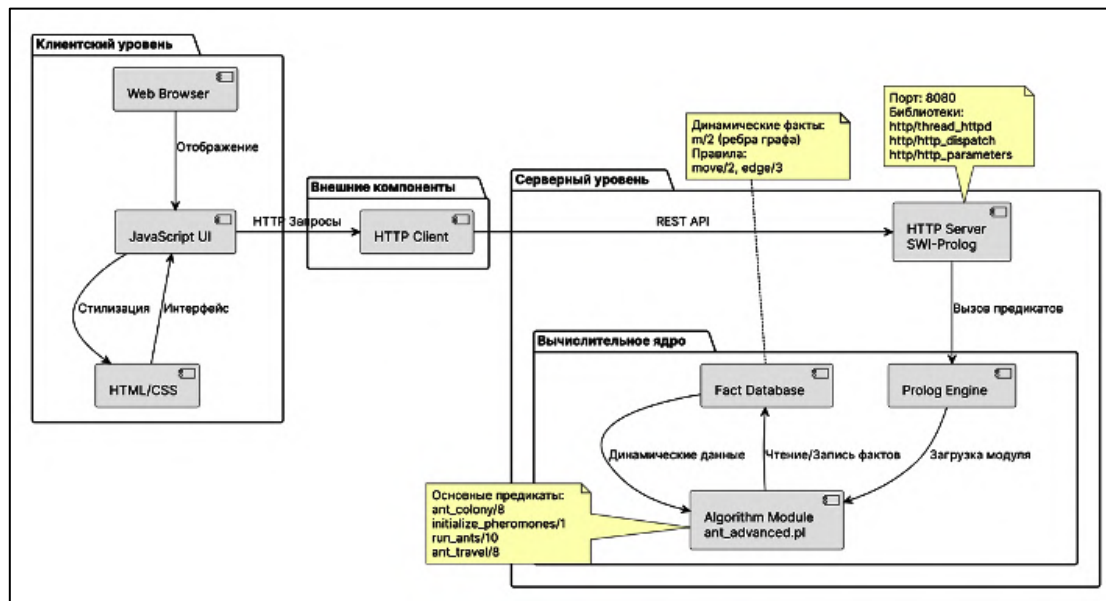


Рисунок 1. Общая архитектура системы

Серверная часть. Сервер реализован с использованием встроенного HTTP-сервера SWI-Prolog, который обеспечивает прямую интеграцию с ядром:

```
:- use_module(library(http/thread_httpd)).
:- use_module(library(http/http_dispatch)).
:- http_server(http_dispatch, [port(8080)]).
```

Обработчик запросов выполняет динамическое обновление базы фактов на основе входных данных и запуск алгоритма:

```
handle_request(Request) :-
    http_parameters(Request, [start(X0), finish(Xn), edges(Edges)]),
    parse_edges(Edges), ant_colony(X0, Xn, ...), retractall(m(_, _)).
```

Механизм взаимодействия компонентов. Взаимодействие между клиентом и сервером организовано через REST API. Web-интерфейс отправляет параметры алгоритма и структуру графа в виде строки формата "A-B, B-C, C-D", которая парсится на сервере:

```
parse_edges(Edges) :- split_string(Edges, ",", "", L), maplist(assert_edge, L).
assert_edge(Edge) :- sp_string(Edge, "-", "", [FStr, ToStr]), assert(m(FStr, ToStr)).
```

Функциональные возможности. Разработанная система позволяет пользователю находить минимальный путь между вершинами графа, предоставляя ему интуитивно понятный web-интерфейс с достаточно развитым функционалом (рис. 2).

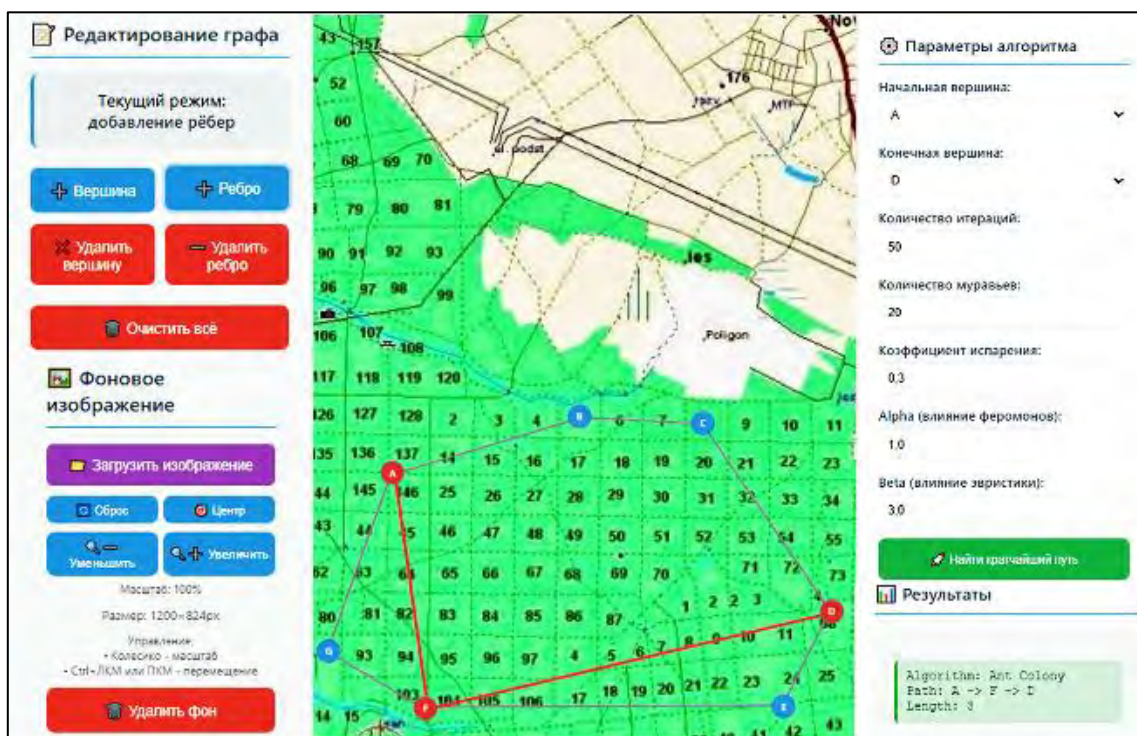


Рисунок 2. Вид web-интерфейса пользователя

Структурно web-интерфейс системы состоит из модуля редактирования графов, модуля обработки изображений и модуля настройки алгоритма АСО. Основным элементом взаимодействия web-интерфейса является модуль редактирования графов, благодаря которому пользователь может добавлять и удалять вершины и ребра графа.

Модуль обработки изображений расширяет прикладные возможности системы. Пользователь может импортировать фоновые изображения, такие как карты, схемы помещений или технологические планы. Это позволяет работать не с абстрактными графами, а решать практические задачи оптимизации путей непосредственно на их схематическом представлении, повышая наглядность и удобство.

Модуль настройки алгоритма обеспечивает контроль над вычислительным процессом. Через данный интерфейс пользователь может задавать ключевые параметры муравьиного алгоритма (например, количество итераций, количество муравьев, коэффициенты влияния феромона и эвристики). Это позволяет адаптировать работу алгоритма под специфику конкретной задачи и находить баланс между скоростью работы и качеством решения [3-5].

Выводы. Предложенная гибридная архитектура, объединяющая вычислительное ядро на Prolog с современным web-интерфейсом, демонстрирует свою целесообразность и эффективность. Использование языка Prolog обеспечивает лаконичное и наглядное представление сложных алгоритмов оптимизации, таких как алгоритм муравьиной колонии, и минимальных накладных расходов за счет совмещения серверного компонента с вычислительным ядром. Архитектура дает возможность динамической модификации бизнес-логики, позволяя обновлять базу правил и фактов без остановки сервиса, а её кроссплатформенность, реализованная через web-интерфейс, гарантирует

доступность с любого устройства, обеспечивая гибкость, масштабируемость и простоту использования.

Таким образом, на примере разработанной системы для решения задачи поиска кратчайшего пути было показано, что Prolog может успешно выступать в качестве мощного вычислительного ядра для символьных вычислений и эвристических методов, в то время как web-технологии обеспечивают интуитивно понятное и доступное взаимодействие с конечным пользователем. Данный подход открывает перспективы для создания гибких и эффективных систем, решающих широкий класс задач оптимизации на графах.

Библиографический список

1. Интеллектуальные системы и технологии. Роевые алгоритмы: инновационные подходы к оптимизации: учебное пособие для студентов по направлениям подготовки 09.03.02, 09.04.02. «Информационные системы и технологии» / С. П. Хабаров, А. М. Заяц / под ред. Хабаров С. П. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2024. – 190 с.
2. Кучко, Д. В. Исследование алгоритма маршрутизации для решения задачи коммивояжера на примере алгоритма муравьиной колонии / Д. В. Кучко, А. С. Костин // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 4(38). – с. 47 – 53. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-4-47-53.
3. Хабаров, С. П. Исследование методов глобального обновления феромонов в алгоритмах муравьиных колоний / С. П. Хабаров // Информационные системы и технологии : Сборник научных трудов. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2025. – С. 194-205.
4. Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии. Труды XXII Международной конференции (Н. Новгород, 14–17 ноября 2022 г.) / Под ред. проф. Д.В. Баландина. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2022. – 170 с.
5. Материалы Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по естественным наукам, Владивосток, 11-22 мая 2020 г. [Электронный ресурс] / Отв. ред. А.В. Малюгин. – Электрон. дан. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2020. – Режим доступа: https://www.dvfu.ru/schools/school_of_natural_sciences/sciences/the-conference/newpage.php. – Загл. с экрана. ISSN 2500-3518.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНТИКОЛЛИЗИОННЫХ АЛГОРИТМОВ TDMA И POLLING В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА НА БАЗЕ LORA

Лубков М.К., Мокринский А.А., Бойцов А.К.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF TDMA AND POLLING ANTI- COLLISION ALGORITHMS IN MONITORING SYSTEMS BASED ON LORA

Lubkov M.K., Mokrinsky A.A., Boitsov A.K.

Saint-Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Исследование посвящено решению проблемы потерь данных, вызванных коллизиями пакетов в беспроводных сетях мониторинга лесных массивов на базе LoRa. Целью работы является сравнительный анализ и экспериментальная верификация двух антиколлизийных алгоритмов – TDMA и Polling, – ориентированных на реализацию в ресурсо-ограниченных встроенных-системах. В ходе эксперимента были изготовлены три узла мониторинговой системы на приемопередатчиках Ra-02 с технологией LoRa для передачи сообщений с сенсоров. Полученные результаты демонстрируют, что в конфигурации с двумя сенсорными узлами алгоритм Polling обеспечивает более высокую надежность передачи (коэффициент потерь 0,5 % против 1,0 % у TDMA). Однако это преимущество достигается за счет существенного увеличения задержки (439,0 мс против 47,6 мс) и среднего потребляемого тока (36,060 мА·ч против 27,455 мА·ч), что обусловлено необходимостью постоянного прослушивания эфира. Результаты работы представляют практическую ценность для разработки энергоэффективных и надежных систем сбора данных в задачах лесного мониторинга.

Ключевые слова: Антиколлизийные процедуры, системы мониторинга, TDMA, Polling, LoRa, микроконтроллеры.

Abstract. The study is devoted to solving the problem of data loss caused by packet collisions in wireless forest monitoring networks based on LoRa. The aim of the work is a comparative analysis and experimental verification of two anti-collision algorithms – TDMA and Polling – focused on implementation in resource-constrained embedded systems. During the experiment, three nodes of the monitoring system were made on Ra-02 transceivers with LoRa technology for transmitting messages from sensors. The results demonstrate that in a configuration with two sensor nodes, the Polling algorithm provides higher transmission reliability (loss ratio of 0.5% vs. 1.0% for TDMA). However, this advantage is achieved at the expense of a significant increase in latency (439.0 ms vs. 47.6 ms) and average current consumption (36.060 mAh vs. 27.455 mAh), which is due to the need for constant monitoring of the air. The results are of practical value for the development of energy-efficient.

Keywords: Anti-collision protocols, monitoring systems, TDMA, Polling, LoRa, microcontrollers.

Современные автономные системы мониторинга лесных массивов находят широкое применение в задачах экологического мониторинга и раннего обнаружения лесных пожаров [1-3, 5]. Ключевыми требованиями к таким системам являются обеспечение стабильной передачи данных с распределенных сенсорных узлов на

значительные расстояния при минимальном энергопотреблении, а также способность функционировать в условиях отсутствия телекоммуникационной инфраструктуры [3].

Для развертывания автономных сетей передачи данных широко применяется LoRa, характеризующаяся высокой проникающей способностью радиосигнала, низким энергопотреблением и возможностью организации связи на расстояния до 15-20 км [4, 6].

Одной из фундаментальных проблем, возникающих в беспроводных сенсорных сетях с ростом количества узлов, являются коллизии пакетов – ситуации одновременной передачи данных несколькими устройствами в общий канал. Коллизии приводят к искажению или потере сообщений, что снижает общую надежность и эффективность системы. Для их разрешения на канальном уровне (уровень управления доступом к среде, MAC) применяются специализированные антиколлизийные алгоритмы.

Для решения проблемы коллизий в беспроводных сетях предлагается множество алгоритмов управления доступом к среде (MAC), таких как FDMA, CDMA, CSMA/CA, TDMA и Polling [8-12]. Однако их применимость в конкретных системах определяется архитектурными и ресурсными ограничениями.

Классические подходы FDMA (разделение по частоте) и CDMA (разделение по коду) требуют аппаратных возможностей или вычислительной мощности [10, 11], которые зачастую недоступны в недорогих LPWAN-модулях, таких как SX1278, ориентированных на минимальное энергопотребление и стоимость.

Алгоритм CSMA/CA, лежащий в основе многих стандартов (например, Wi-Fi), для своей эффективной работы требует надежного и быстрого механизма проверки занятости канала (CAD) [8]. В условиях ограниченных ресурсов микроконтроллеров начального уровня (например, ATmega328P) и особенностей реализации LoRa-стеков, программная реализация CAD становится нетривиальной задачей, зачастую ведущей к неоправданному усложнению прошивки и росту потребления.

В контексте задач автономного мониторинга с жесткими ограничениями по энергии и стоимости, наибольший практический интерес представляют алгоритмы, не предъявляющие чрезмерных требований к аппаратуре. TDMA (разделение по времени) и централизованный Polling (опрос) органично соответствуют этой парадигме. Их реализация опирается на логику планирования передач, а не на сложную обработку сигналов, что делает их идеальными кандидатами для развертывания на простых микроконтроллерах.

Таким образом, на основе проведенного анализа ресурсных ограничений целевой платформы, в данной работе проводится сравнительное исследование двух наиболее перспективных алгоритмов – TDMA и Polling. Целью работы является экспериментальная оценка эффективности данных алгоритмов в прототипе системы мониторинга на базе LoRa по следующим ключевым метрикам: надежность (коэффициент потерь пакетов), задержка (время отклика системы) и энергоэффективность (средний потребляемый ток).

Для проведения исследования была разработана и изготовлена экспериментальная установка, состоящая из трех узлов: двух передатчиков (сенсорных узлов) и одного приемного шлюза.

Оба передающих узла построены на базе микроконтроллера ATmega328P и модуля LoRa SX1278 (Ra-02), работающего в нелицензируемом диапазоне 433 МГц. Модули поддерживают полудуплексный режим работы, что исключает одновременный прием и передачу данных. Для формирования полезной нагрузки первый передатчик использовал датчик ВМЕ-280 (измерение температуры, влажности и атмосферного давления), а второй – датчик газа MQ-2.

Приемный шлюз на базе более производительного микроконтроллера ESP32 и аналогичного LoRa-модуля выполнял функцию сбора данных и координатора сети. Все узлы комплектовались стандартными спиральными всенаправленными антеннами без усиления.

Для обеспечения надежной передачи на большие расстояния в полевых условиях были выбраны следующие параметры радиоканала: коэффициент расширения спектра (SF): 9; полоса пропускания (BW): 125 кГц; мощность передачи (TX Power): 20 дБм (100 мВт).

Для сравнительного анализа алгоритмов были выбраны три ключевые метрики: коэффициент потерь пакетов (Packet Loss Ratio), время отклика системы (Response Time) и средний потребляемый ток (Average Current Consumption).

Коэффициент потерь пакетов (Packet Loss Ratio) - определялся как отношение количества не полученных шлюзом пакетов к общему количеству отправленных. Логирование входящих и исходящих сообщений выполнялось с помощью терминальной программы PuTTY, а последующий анализ и подсчет проводились специализированным Python-скриптом.

Время отклика системы (Response Time) - измерялось как задержка между моментом начала отправки пакета на передатчике и моментом его полного приема и обработки на шлюзе. Временные метки фиксировались средствами среды разработки Arduino IDE.

Средний потребляемый ток (Average Current Consumption) - рассчитывался для цикла работы, учитывающего продолжительность и ток потребления в режимах передачи, приема и ожидания. Расчет производился для сценария с интенсивностью передачи 6 сообщений в час. Важно подчеркнуть, что расчет велся для активного режима работы, без использования энергосберегающих режимов (сна) микроконтроллера и LoRa-модуля, что не отражает потенциал энергосбережения в реальных условиях эксплуатации, но позволяет провести сравнительный анализ алгоритмов.

Все испытания проводились в лабораторных условиях на расстоянии 1 метр между узлами при отсутствии внешних радиопомех. Каждый эксперимент длился 1 час, в течение которого каждый передатчик отправлял по 500 пакетов, формируя общую выборку в 1000 сообщений на эксперимент.

Основной целью данного этапа являлась верификация корректности программных реализаций алгоритмов и сравнительный анализ их базовых характеристик в контролируемой среде. Такой подход позволяет количественно оценить зависимость ключевых метрик (надежность, задержка, энергопотребление) от принципа работы алгоритма, исключив влияние внешних дестабилизирующих факторов. Полученные результаты формируют основу для последующих экспериментов в условиях, приближенных к реальным

Для каждого из исследуемых методов (TDMA, Polling) и шлюза были разработаны отдельные программы на языке C++ в среде Arduino IDE.

При реализации TDMA передающие узлы были настроены на отправку сообщений раз в 10 секунд, временной интервал между пакетами разных передатчиков составил 5 секунд, экспериментальным путем было выяснено, что этого времени достаточно на обработку входящего пакета и подготовку к приему следующего. Таким образом, было успешно принято 990 из 1000 сообщений. Потеря 10 пакетов (1%) вероятнее всего связана с неидеальной синхронизацией тактовых частот микроконтроллеров, что привело к незначительному дрейфу временных слотов. Средняя задержка равняется 47,6 мс. Потребление всей системы в режиме ожидания - 27 мА, а в режиме передачи 118 мА.

При использовании метода Polling шлюз последовательно опрашивал каждый передающий узел, в то время как они находятся в режиме прослушивания эфира, ожидая специализированного запроса от шлюза, после получения которого инициировали передачу телеметрии. В ходе эксперимента шлюз принял 995 из 1000 пакетов. Средняя задержка передачи составила 439,0 мс. Ток потребления узла в режиме приема составлял 36 мА, а в режиме передачи достигал 141 мА. Сводные результаты сравнительного анализа алгоритмов представлены в табл 1.

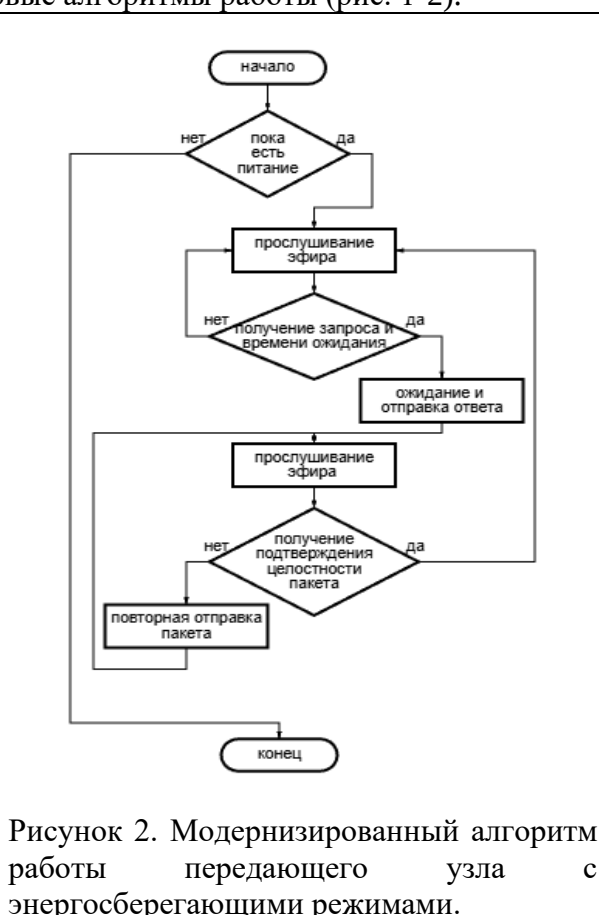
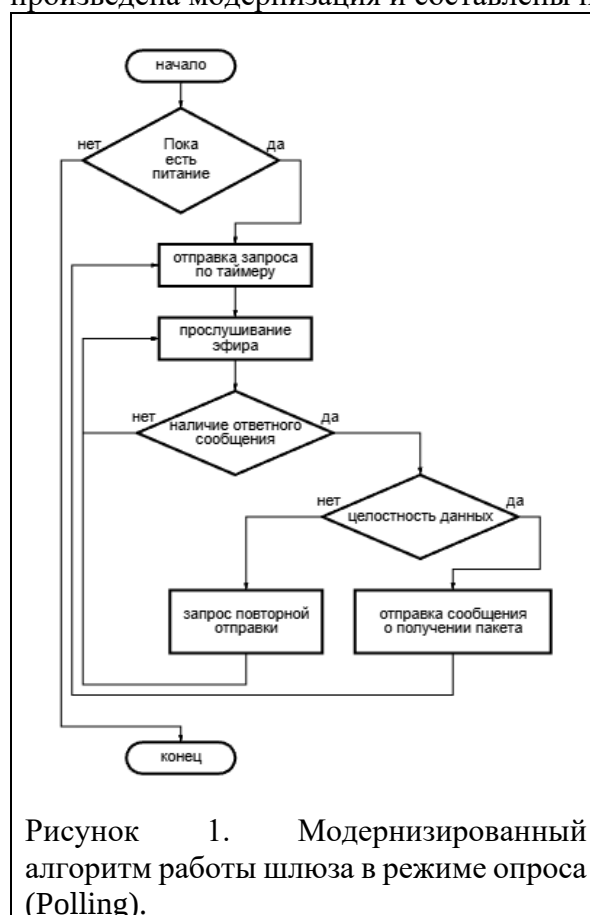
Таблица 1

Сравнительные результаты работы алгоритмов TDMA и Polling

Метод	Потеря пакетов, %	Время отклика, мс	Средний потребляемый ток, мА·ч
TDMA	1,0	47,6	27,455
Polling	0,5	439,0	36,060

Анализ экспериментальных данных выявил взаимосвязь между ключевыми характеристиками алгоритмов. Polling продемонстрировал вдвое более высокую надежность (потеря 0,5% против 1,0%), однако было достигнуто ценой десятикратного увеличения задержки (439,0 мс против 47,6 мс) и повышенного на 31,0% среднего потребляемого тока.

Благодаря наличию двусторонней связи между узлами, а также применению технологий контроля целостности сообщений, например CRC-16 [7], механизм polling обеспечивает возможность повторного запроса поврежденных или утерянных пакетов, что существенно снижает вероятность потери данных. По итогу анализа была произведена модернизация и составлены новые алгоритмы работы (рис. 1-2).



Таким образом, проведённое исследование показало, что базовая реализация алгоритма Polling обеспечивает более высокую надежность, чем TDMA, но неприменима в автономных устройствах из-за высокого энергопотребления. В то же время, потенциал данного алгоритма раскрывается при использовании режимов сна, что является предметом дальнейших исследований. В рамках же конфигурации без сна, алгоритм TDMA выглядит предпочтительнее для систем, где приоритетом является низкое энергопотребление и задержка, а некоторая потеря данных допустима.

Библиографический список

1. Бажунов, И. Д. Разработка платформы для мониторинга лесных экосистем на основе многоуровневой архитектуры / И. Д. Бажунов, А. А. Мокринский, А. К. Бойцов // Актуальные вопросы лесного хозяйства : Материалы VIII международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: ООО "Реноме", 2024. – С. 147-151.
2. Бойцов, А. К. Беспроводная сенсорная сеть для мониторинга лесных территорий / А. К. Бойцов, А. А. Мокринский // Сборник научных трудов совета молодых ученых СПбГЛТУ : Сборник статей. Том Выпуск 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2022. – С. 4-18.
3. Заяц, А. М. Построение моделей беспроводных сетей с учетом энергопотребления и мобильности ее узлов / А. М. Заяц, С. П. Хабаров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – № 232. – С. 252-264. – DOI 10.21266/2079-4304.2020.232.252-264.
4. Карбаева, А. Обзор: датчики высокой плотности Lora (Long-range) для Интернета вещей / А. Карбаева // НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ : сборник статей III Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 мая 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 187-190.
5. Мединцев С. Ю., Орехов А. А., Кочкарь Д. А. Системы мониторинга лесных ресурсов: состояние и пути развития //Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – №. 6. – С. 70–74-70–74.
6. Степанов Н. В. Систематизированный обзор особенностей реализации физического уровня протокола LORA //T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 17. – №. 11. – С. 11.
7. Чернышев, К. Д. Исследование CRC-алгоритмов обнаружения ошибок в блоках данных, передаваемых через сеть Интернет / К. Д. Чернышев, А. В. Яшонков // Научное измерение - 2024 : сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 06 ноября 2024 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2024. – С. 50-59.
8. Cagalj M. et al. On selfish behavior in CSMA/CA networks //Proceedings IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. – IEEE, 2005. – Т. 4. – С. 2513-2524.
9. Ergen S. C., Varaiya P. TDMA scheduling algorithms for wireless sensor networks //Wireless networks. – 2010. – Т. 16. – №. 4. – С. 985-997.
10. Myung H. G. Introduction to single carrier FDMA //2007 15th European signal processing conference. – IEEE, 2007. – С. 2144-2148.
11. Prasad R., Ojanpera T. An overview of CDMA evolution toward wideband CDMA //IEEE communications Surveys. – 1998. – Т. 1. – №. 1. – С. 2-29.
12. Takagi H. Queuing analysis of polling models //ACM Computing Surveys (CSUR). – 1988. – Т. 20. – №. 1. – С. 5-28.

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МАРШРУТОВ БАС С УЧЁТОМ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Маклашин Д.И., Вагизов М.Р.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

APPLICATION FOR ENERGY-EFFICIENT UAV ROUTES WITH KINEMATIC CONSTRAINTS.

Maklashin D.I. Vagizov M.R.,

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Разработано веб-приложение для построения маршрутов беспилотных авиационных систем (БАС) при мониторинге лесных кварталов. Используется оптимизационный подход, учитывающий кинематические ограничения движения и направленный на повышение энергоэффективности полёта. Система позволяет автоматически покрывать заданный полигон и визуализировать маршрут на карте. На примере учебно-опытного лесничества, филиала СПбГЛТУ продемонстрировано сокращение длины и времени маршрута по сравнению с базовым способом.

Ключевые слова: БАС, муравьиный алгоритм, ACOR, траектории Дубинса, Leaflet.

Abstract. A web application has been developed for constructing routes of unmanned aerial systems (UAS) in monitoring forest blocks. An optimization approach is used, taking into account kinematic constraints of movement and aimed at increasing flight energy efficiency. The system allows to automatically cover a given polygon and visualize the route on the map. Using the example of the Lisino training ground, the reduction of route length and time in comparison with the basic way is demonstrated.

Keywords: UAV, ant colony optimization, ACOR, Dubins paths, Leaflet.

Мониторинг лесных территорий с помощью беспилотных авиационных систем (БАС) становится всё более востребованным инструментом лесного хозяйства и экологического контроля [4].

Лесной фонд России — 1 188 млн га [2]. Ежедневно нужно фиксировать пожары, рубки и санитарное состояние. Пилотируемая авиация (Ан-2, Ми-8) отличается высокой стоимостью эксплуатации. Крупные БПЛА самолётного типа покрывают сотни гектаров за полёт, но:

- цена комплекса 3–8 млн Р;
- запуск только с катапульты и ровной полосы 50–100 м;
- посадка парашютом с высоким риском повреждения оптики.

Такие аппараты доступны лишь крупным холдингам и региональным центрам. Поэтому будущее — за роями недорогих мультироторных дронов:

- цена одного 200–500 тыс. Р;
- вертикальный взлёт с любой поляны 5×5 м;
- зависание над кварталом и съёмка в реальном времени.

Мультироторные дроны, в отличие от самолётных БПЛА, могут летать медленно (5–8 м/с), но при резких поворотах вынуждены полностью останавливаться и зависать, что увеличивает энергопотребление на 30–50 % на каждом развороте. Кривые Дубинса позволяют сохранить постоянную скорость на всём маршруте, превращая резкие углы в плавные дуги радиусом 15–50 м — именно тот диапазон, который реально достижим для

коптеров типа DJI Mavic и Autel EVO. Поэтому предложенное приложение использует траектории Дубинса как обязательный этап сглаживания маршрута, обеспечивая физическую выполнимость и максимальную энергоэффективность именно для массовых мультироторных БВС (беспилотное воздушное судно).

В связи с этим актуальной темой становится задача построения маршрутов, минимизирующих суммарную длину и энергопотребление при полном покрытии исследуемой территории. При этом необходимо учитывать ограничения на радиус разворота, скорость и особенности динамики дрона [1].

Предложенное веб-приложение реализует алгоритмический подход, обеспечивающий построение энергоэффективных маршрутов дронов для покрытия произвольных полигонов, например, лесных кварталов учебного полигона Лисино.

Основной целью исследования является минимизация длины пути.

Функциональность приложения включает:

- Генерацию шестиугольной сетки для покрытия полигона с заданным радиусом.
- Построение маршрута с использованием муравьиного алгоритма (ACO) [5] для задачи NL-TSP (нелинейный коммивояжер) с учетом траекторий Дубинса [1].
- Оптимизацию углов поворота с помощью ACOR (алгоритм непрерывной оптимизации, основанный на концепции муравьиного алгоритма).
- Расчет энергопотребления и времени полета с учетом скорости БВС.

На рис. 1 представлена диаграмма последовательности работы приложения.

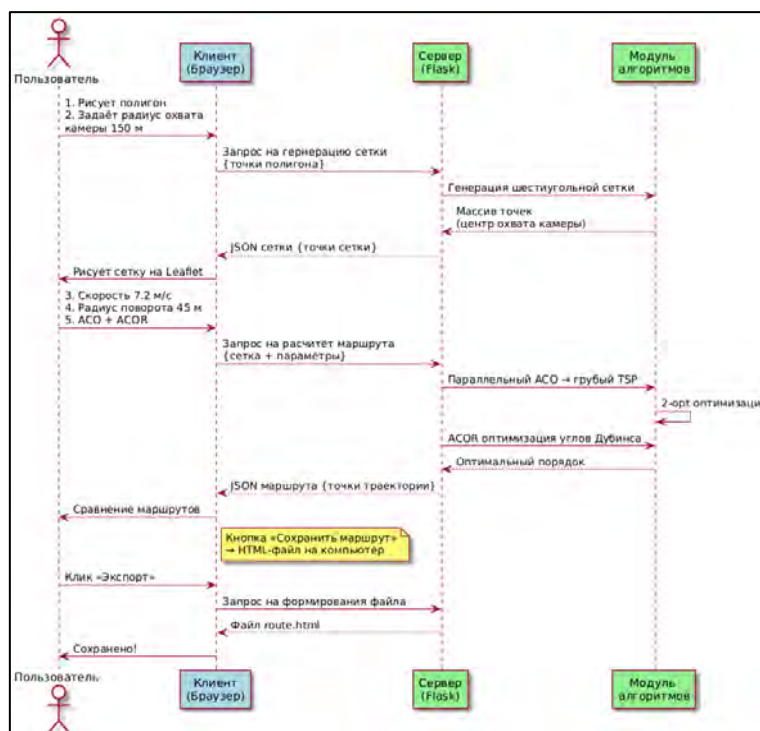


Рисунок 1. Диаграмма последовательности работы приложения.

Пользователь задаёт параметры, после чего система генерирует сетку, рассчитывает маршрут с учётом ограничений и возвращает результат для визуализации на карте.

Клиентская часть использует библиотеку Leaflet для визуализации карты. Алгоритмы ACO и ACOR реализованы на сервере, а данные полигона Лисино

загружаются в формате GeoJSON. Данные по лесным кварталам учебного полигона Лисино были взяты с сайта государственного лесного реестра [3].

Интерфейс приложения позволяет интуитивно задавать параметры полёта: радиус покрытия, радиус разворота, скорость БАС, а также настройки алгоритма оптимизации.

На карте отображаются шестиугольная сетка покрытия и рассчитанный маршрут.

Эксперименты проведены на данных учебного полигона Лисино №59 при следующих параметрах:

- радиус покрытия 150 м;
- затраты на метр 5(Дж/м);
- емкость батареи: 86400 (Дж). Что соответствует аккумулятору в 2000 мАч;
- радиус разворота 45 м;
- скорость 7,2 м/с.

Сравнение маршрутов, построенных базовым способом (ACO) и с учётом оптимизации (ACOR), показало сокращение длины на 14 %, а времени полёта — примерно на 3 минуты.



Рисунок 2. Визуализация маршрутов на карте. Маршрут без (а) и с (б) ACOR.

В результате работы разработано веб-приложение, позволяющее строить маршруты полного покрытия заданной территории с учётом кинематических ограничений беспилотных авиационных систем. Применение оптимизационного подхода обеспечивает сокращение длины маршрута и повышение энергоэффективности полёта по сравнению с традиционными схемами облёта. В следующих исследованиях планируется тестирование разработанного приложения на базе БВС. Разработанный интерфейс предоставляет пользователю удобные инструменты для визуального планирования и анализа маршрутов, что делает систему применимой для задач лесного мониторинга и учёта насаждений. В дальнейшем планируется развитие алгоритмической части, включающее исследование влияния параметров оптимизации на энергопотребление и динамику полёта, а также расширение набора обрабатываемых данных.

Библиографический список

1. Вагизов, М. Р. Расчет траектории движения БПЛА с учетом требования снижения его скорости в конечной точке / М. Р. Вагизов, С. П. Хабаров // Информация и космос. — 2022. — № 1. — С. 122-128. — EDN YRTHKE.
2. Государственный лесной реестр. Площадь лесов России на 01.01.2024. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest-register/> (дата обращения: 05.11.2025).

3. Государственный лесной реестр. [Электронный ресурс] URL: <https://rosleshoz.gov.ru/glr> (дата обращения: 04.11.2025).
4. Рябухин, П. Б. Использование беспилотных летательных аппаратов для таксации лесных насаждений / П. Б. Рябухин, Е. М. Рунова // Системы. Методы. Технологии. – 2025. – № 1(65). – С. 163-171. – DOI 10.18324/2077-5415-2025-1-163-171. – EDN NBBBZV.
5. Dorigo M., Stützle T. Ant Colony Optimization. MIT Press, 2004. 305 с.
6. Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps. URL: <https://leafletjs.com> (дата обращения: 04.11.2025).

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

Озеров С.А.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

RESEARCH ON THE PROSPECTS OF APPLYING LARGE LANGUAGE MODELS IN THE FOREST INDUSTRY.

Ozerov S.A.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. Статья представляет обзор современных возможностей и ограничений больших языковых моделей (LLM), обученных на основе трансформеров, с акцентом на их практическое применение в интеллектуальных информационных системах. Раскрываются принципы работы и архитектурные особенности моделей, такие как GPT, PaLM и LLaMA. Обсуждаются примеры использования LLM в автоматизации текстовых процессов, аналитике, генерации контента и поддержке принятия решений. В завершение анализируются перспективы интеграции LLM в лесной промышленности, включая планирование, прогнозирование и интеллектуальное управление бизнес-процессами, с учётом актуальных цифровых вызовов отрасли.

Ключевые слова: большие языковые модели, искусственный интеллект, трансформеры, поддержка принятия решений, лесная промышленность, цифровизация, планирование, прогнозирование, интеллектуальные системы.

Abstract. This article provides an overview of the current capabilities and limitations of large language models (LLMs) based on transformer architecture, focusing on their practical applications in intelligent information systems. It outlines key architectural principles of models such as GPT, PaLM, and LLaMA. The paper discusses the use of LLMs in text automation, analytics, content generation, and decision support. The concluding section explores prospects for integrating LLMs into the forest industry, including planning, forecasting, and intelligent business process management, in the context of the industry's digital transformation.

Keywords: large language models, artificial intelligence, transformers, decision support, forest industry, digitalization, planning, forecasting, intelligent systems.

Большие языковые модели (LLM) – это нейронные сети на основе трансформеров, обученные на гигантских корпусах текстов. Они демонстрируют впечатляющую способность генерировать текст, похожий на человеческий, создавая у пользователя иллюзию «понимающего» собеседника. LLM могут не только отвечать на вопросы и резюмировать тексты, но и выполнять сложные задачи по декомпозиции задачи на шаги и логическому рассуждению (рис. 1), где показано сравнение производительности LLM-моделей по GPQA-критерию (Graduate-Level Google-Proof Q&A Benchmark). Следуя инструкциям человека (так называемое многозадачное обучение «in-context learning»), модели семейства GPT, PaLM, LLaMA и другие с десятками миллиардов параметров после дообучения способны автоматически планировать и решать новые задачи, основанные на вводном описании [4].

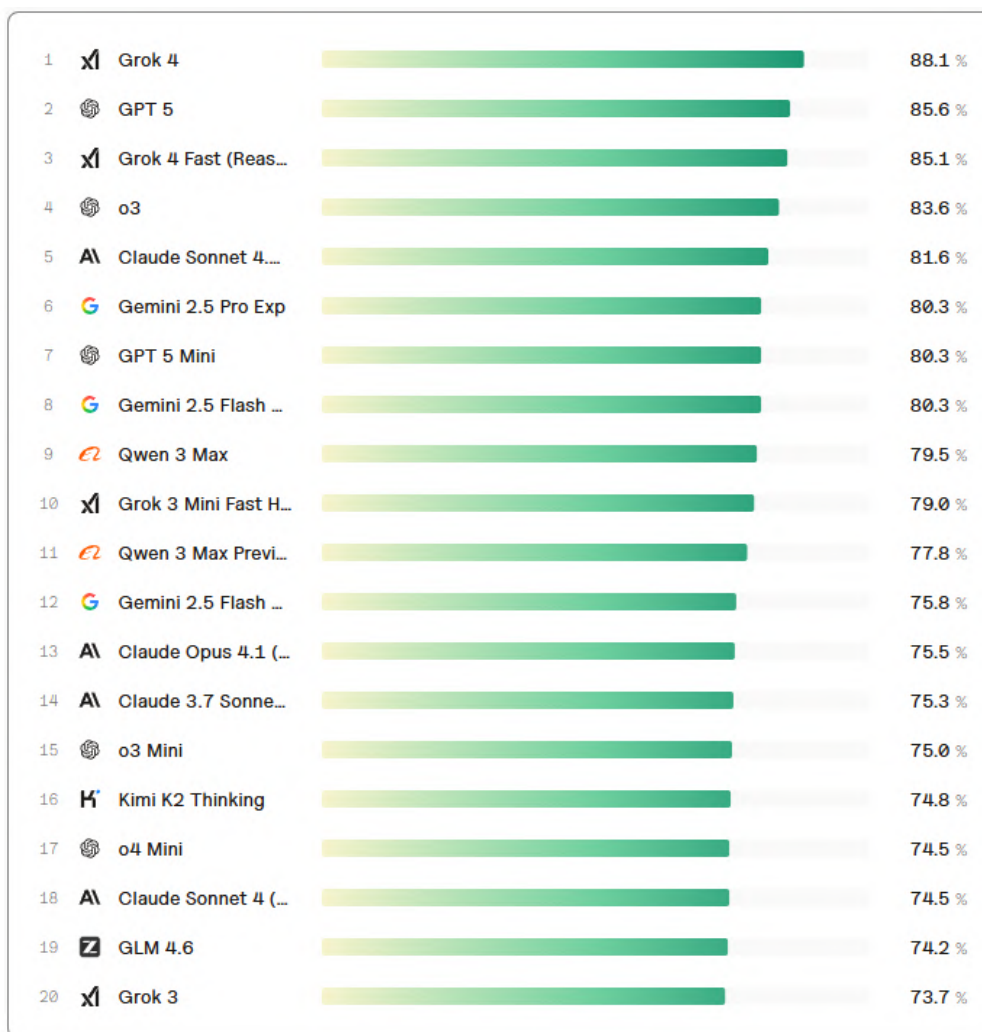


Рисунок 1. Сравнение производительности LLM-моделей по GPQA-критерию.

Однако LLM обладают и существенными ограничениями. Как отмечает специалист по искусственному интеллекту Ян Лекун, современные авторегрессионные LLM *«работают исключительно с текстовыми данными и не способны воспринимать физический мир»* [5]. Модели склонны к так называемым «галлюцинациям»: они могут убедительно генерировать факты и ссылки, не имея их в базе знаний. Кроме того, LLM обучены на статичных данных (обновления знаний прекращаются на момент окончания обучения) и плохо работают с актуальными событиями или точными вычислениями. Требуемые вычислительные ресурсы для обучения и работы таких моделей также велики. Таким образом, эффективное применение LLM требует понимания их внутренней архитектуры, возможностей и ограничений.

Несмотря на это, LLM находят широкие практические применения в разных областях:

- Автоматизация текстовых сервисов: чат-боты для поддержки пользователей, системы ответа на вопросы, генерация отчетов и документации, перевод больших текстов.
- Генерация контента: написание статей, новостных заметок, рекламных текстов и даже программного кода на основе заданного описания.

- Анализ данных и знаний: извлечение информации из неструктурированных источников, фильтрация спама и дезинформации, создание персональных рекомендаций.

- Интеллектуальное планирование: учитывая, что LLM не были изначально разработаны для численного моделирования, они могут служить «мозгом» в системах поддержки принятия решений. Так, например, описывается интеллектуальная агентная система ИИ для планирования производственных процессов на основе большой языковой модели. Эта система может *«автоматизировать все шаги от анализа сметной документации до валидации сгенерированных план-графиков»* и даже выдавать рекомендации по выбору технологий реализации проекта [1]. Модель анализирует корпоративные данные и сметы, генерирует план-графики работ и оптимизирует их, значительно сокращая трудозатраты на планирование.

Важным направлением является прогнозирование и оптимизация бизнес-процессов с помощью ИИ. В частности, ИИ-решения применяются для прогнозирования спроса, планирования производства и логистики. Так, современные системы предсказывают спрос на мировом рынке лесоматериалов, что позволяет точнее планировать объемы лесозаготовок и переработки, а также экспортные поставки [3]. Умные алгоритмы управления запасами в автоматическом режиме регулируют наличие сырья и готовой продукции на складах, обеспечивая бесперебойность поставок и снижение издержек. Подобные алгоритмы оптимизируют маршруты доставки, уменьшают логистические затраты и повышают экологичность перевозок. Таким образом, LLM и другие ИИ-технологии могут выступать интеллектуальным аналитиком и советником при принятии ключевых решений в промышленном управлении.

В лесной промышленности наблюдаются тенденции активной цифровизации, где ИИ и LLM также находят применение. Внедрение «умных заводов» и платформ обработки больших данных в отрасли позволяет повышать эффективность и устойчивость лесопромышленного комплекса. Например, системы компьютерного зрения и беспилотные дроны на основе ИИ применяются для мониторинга состояния лесных участков и пожарного предупреждения. Модели машинного обучения анализируют спутниковые и сенсорные данные для определения оптимальных участков рубок и оценки состояния лесного фонда. Согласно обзору инновационных решений, технологии искусственного интеллекта внедряются на различных этапах лесохозяйственного цикла: они обеспечивают поддержку принятия решений на этапах управления и планирования, проводят анализ состояния древесных пород и осуществляют предиктивную аналитику лесного фонда [2]. Например, ИИ и машинное обучение используются для прогнозирования изменения лесного покрова, оптимизации планов рубки с учётом экологических требований и разработки мер по восстановлению лесов. Это согласуется с практическим применением ИИ в предприятиях ЛПК – системы автоматически анализируют маркетинговые данные для выявления тенденций спроса и помогают внедрять новые продукты с повышенной добавленной стоимостью.

В частности, ИИ-платформы облегчают планирование производства и управление качеством. Точные прогнозы позволяют минимизировать запасы древесины на складах, снижая потери и затраты на хранение. Интеллектуальные системы контроля качества продукции на основе анализа данных сенсоров и изображений обеспечивают стабильный выход сортимента, а автоматизация процессов резки и обработки древесины уменьшает брак. Таким образом, цифровые технологии и LLM расширяют экспортные возможности лесной промышленности, повышая качество продукции и гибкость бизнеса. Как

отмечается, эти инновации позволяют более точно планировать производство и логистику, быстро реагировать на изменение спроса и адаптироваться к международным стандартам.

По результатам исследования, можно отметить, что большие языковые модели обладают значительным потенциалом для применения в лесной отрасли в составе интеллектуальных систем. Они способны обрабатывать большие объёмы текстовой информации (от нормативов до данных мониторинга), автоматизировать принятие решений и прогнозирование. Однако их использование требует учёта ограничений (необходимость экспертизы валидации результатов, обновления данных и надёжности). В перспективе сочетание LLM с другими ИИ-методами (машинное обучение, компьютерное зрение, сети IoT) может создать интегрированные цифровые платформы поддержки решения задач лесного хозяйства. В конечном итоге «умные» технологии позволят повысить эффективность лесозаготовок и переработки, сделать управление ресурсами более устойчивым и экологичным, а отрасль – более конкурентоспособной на мировом рынке.

Библиографический список

1. Интеллектуальная агентная система поддержки принятия решений по планированию промышленных бизнес-процессов на основе БЯМ. – 2024. URL: <https://iai.itmo.ru/razrabotki/sistemyi-ii-dlya-planirovaniya-i-sostavleniya-raspisanij/intellektualnaya-agentnaya-sistema-podderzhki-prinyatiya-reshenij-po-planirovaniyu-promyshlennyix-biznes-proცessov-na-osnove-byam> (Дата обращения: 05.11.2025)
2. Кравченко П.П., Бурцев Д.С. Цифровые технологии в лесной промышленности: перспективы и барьеры – 2022. – С. 22-48.
3. Умные заводы: как внедрение AI трансформирует лесную промышленность и увеличивает экспортные возможности. – 2025. URL: <https://ppdr.ru/umnye-zavody-kak-vnedrenie-ai-transformiruet-lesnuyu-promyshlennost-i-uvelichivaet-eksportnye-vozmozhnosti/> (Дата обращения 06.11.2025)
4. Large Language Models: A Survey. – 2024. URL: <https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2402.06196v3> (Дата обращения 3.11.2025).
5. Yann LeCun Wants to Ditch Generative AI – 2024. URL: <https://aibusiness.com/nlp/meta-s-yann-lecun-wants-to-ditch-generative-ai> (Дата обращения: 05.11.2025)

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЛЕСНЫХ ПЛАНТАЦИЙ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОГО ИНТЕРНЕТ-СОЕДИНЕНИЯ

Перчик Д.В., Бойцов А.К.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

A WEB APPLICATION FOR OPTIMIZING THE COLLECTION AND PROCESSING OF PHENOTYPIC DATA FROM FOREST PLANTATIONS UNDER UNSTABLE INTERNET CONNECTION

Perchik D.V., Boitsov A.K.

St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация: В данной работе представлена разработка веб-приложения для повышения эффективности процессов полевого фенотипирования древесных культур. Система реализует полный цикл работы с данными - от сбора показателей на уровне отдельных деревьев до аналитической обработки и визуализации. Применение PWA-архитектуры со стратегией offline-first обеспечивает автономную работу в условиях отсутствия сетевого соединения. Технологический стек включает React/TypeScript на клиентской стороне и FastAPI/Python на серверной. Особенностью решения является сочетание интерактивного картографирования плантаций с инструментами статистического анализа и генерации отчетов.

Ключевые слова: веб-приложение, лесные плантации, фенотипирование, интерактивная карта, FastAPI, React, PWA, offline-first, слоистая архитектура.

Abstract: This paper presents the development of a web application to improve the efficiency of field phenotyping of tree crops. The system implements a full data management cycle, from collecting individual tree-level data to analytical processing and visualization. The use of a PWA architecture with an offline-first strategy ensures autonomous operation without a network connection. The technology stack includes React/TypeScript on the client side and FastAPI/Python on the server side. A key feature of the solution is its combination of interactive plantation mapping with statistical analysis and report generation tools.

Keywords: web application, forest plantations, phenotyping, interactive map, FastAPI, React, PWA, offline-first, layered architecture.

Цифровизация природопользования стимулирует развитие веб-систем для работы с лесохозяйственными данными [5]. В селекции древесных культур необходим оперативный доступ к детальным фенотипическим показателям — росту, жизнеспособности и фитосанитарному состоянию отдельных деревьев.

Традиционные методы учёта, основанные на ручных измерениях и бумажной отчётности, обладают значительной погрешностью [6], низкой скоростью обновления данных и чрезмерными трудозатратами, что обуславливает необходимость создания интегрированной платформы, объединяющей сбор, хранение, визуализацию и анализ информации.

Среди существующих решений выделяется международная платформа «Global Forest Watch» [7], предоставляющая глобальный мониторинг лесов посредством интерактивной карты и технологий PWA. Несмотря на развитые функции визуализации и анализа, сервис не поддерживает операции с данными на уровне отдельных деревьев и

не предназначен для управления конкретными плантациями, что ограничивает его применимость для задач полевого фенотипирования.

Российские платформы «ГИС Зеленая инфраструктура городов» и «EkbTrees» [3, 4] реализуют учёт отдельных зелёных насаждений в городской среде, предоставляя пользователям инструменты для их добавления на интерактивную карту. Однако данные системы ориентированы преимущественно на инвентаризацию и визуализацию, не включая модулей для углубленного статистического анализа и генерации отчётов по фенотипическим параметрам, что ограничивает их применение в селекционных исследованиях.

Более релевантный подход демонстрируют цифровые платформы, разработанные для смежных отраслей. Передовым примером в области агробизнеса служит платформа «ExactFarming» [2], которая предлагает комплексный инструментарий для управления сельхозугодьями от картирования полей и учёта севооборотов до анализа метеоданных и ресурсов. При этом в сегменте лесного хозяйства аналогичные по глубине проработки решения отсутствуют. Перенос подобных принципов управления и анализа данных представляется перспективным направлением для развития цифровых сервисов в лесной отрасли.

В связи с этим, целью работы является разработка архитектуры и реализация отказоустойчивого веб-приложения, ориентированного на оптимизацию сбора и обработки фенотипических данных лесных плантаций в условиях нестабильной сетевой инфраструктуры.

Для реализации клиентской части приложения были выбраны такие технологии, как React и Typescript, для модулей интерактивных карт – Leaflet и Yandex Maps API. Для серверной части – Python, FastAPI, Pydantic и SQLAlchemy, а методология разработки – слоистая архитектура. В качестве базы данных – PostgreSQL, а для обеспечения работы в условиях отсутствия сетевого соединения применяется архитектура Progressive Web Application (PWA) с реализацией стратегии offline-first. Данная методология предполагает приоритетную работу с локальным кэшем данных, их последующую фоновую синхронизацию с сервером при восстановлении соединения и включает механизм разрешения потенциальных конфликтов данных.

Система реализована по клиент-серверной архитектуре, где клиентское веб-приложение (фронтенд) и серверная часть (бэкенд) взаимодействуют через REST API по протоколу HTTP/HTTPS (рис. 1).

Архитектура приложения базируется на трёх фундаментальных компонентах: системе хранения данных, серверной и клиентской частях. Система хранения, реализованная на базе СУБД PostgreSQL, обеспечивает целостное и структурированное хранение всей информации о деревьях, клоновых архивах, измерениях и наблюдениях.

Клиентское приложение, реализованное на React с TypeScript, обеспечивает визуализацию данных через интерактивные карты и аналитические отчёты (рис. 2-4). Компонентно-модульная организация фронтенда позволяет гибко адаптировать интерфейс под расширяемую номенклатуру наблюдаемых параметров, а применение PWA-технологий со стратегией offline-first гарантирует кроссплатформенность и автономную работу в полевых условиях, что напрямую отвечает требованию непрерывности сбора данных при отсутствии стабильного интернет-соединения.

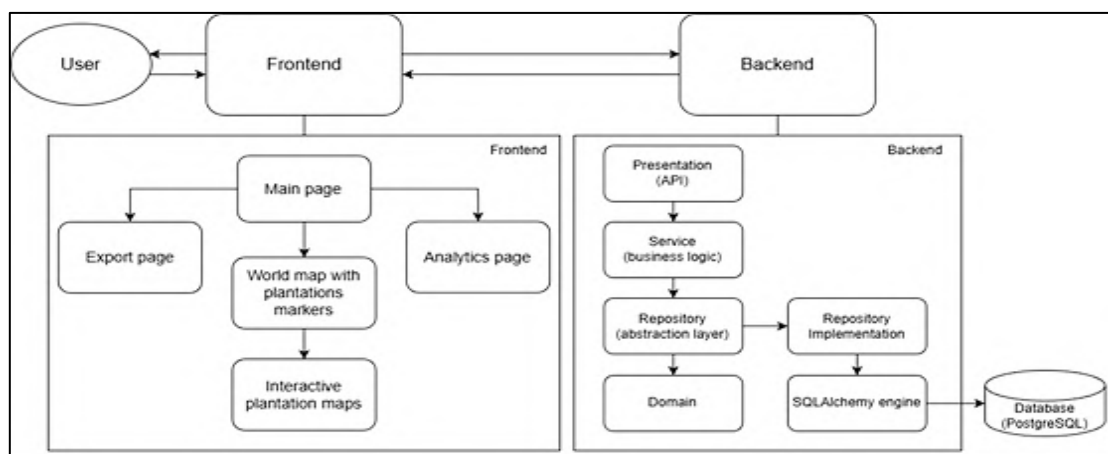


Рисунок 1. Концептуальная схема работы веб-приложения для управления лесными плантациями

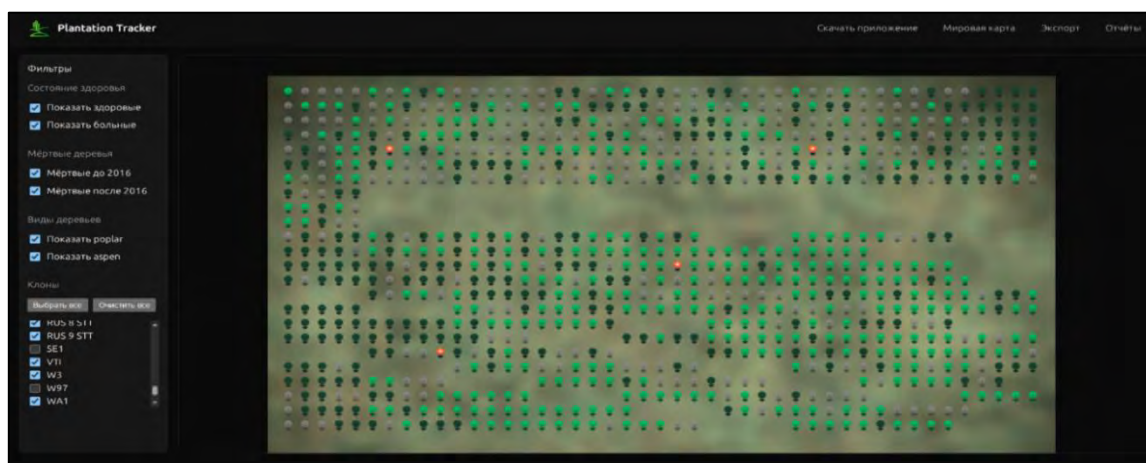


Рисунок 2. Интерфейс интерактивной карты плантации с инструментами редактирования фенотипических данных

Серверная часть, построенная на асинхронном фреймворке FastAPI (Python), инкапсулирует бизнес-логику и обеспечивает высокопроизводительное RESTful API, следуя принципам слоистой архитектуры, обеспечивающей четкое разделение ответственности между компонентами и снижение их связанности. Данный подход повышает сопровождаемость, тестируемость и масштабируемость программного комплекса. Архитектура включает четыре последовательных уровня: доменный слой, уровень доступа к данным, сервисный уровень и уровень представления (рис. 4).

Доменный слой формирует ядро системы, содержащее модели предметной области фенотипирования деревьев. Модели сущностей «дерево», «измерение» и «плантация» реализованы в виде классов Python, изолированных от вышележащих уровней и инфраструктурных зависимостей.

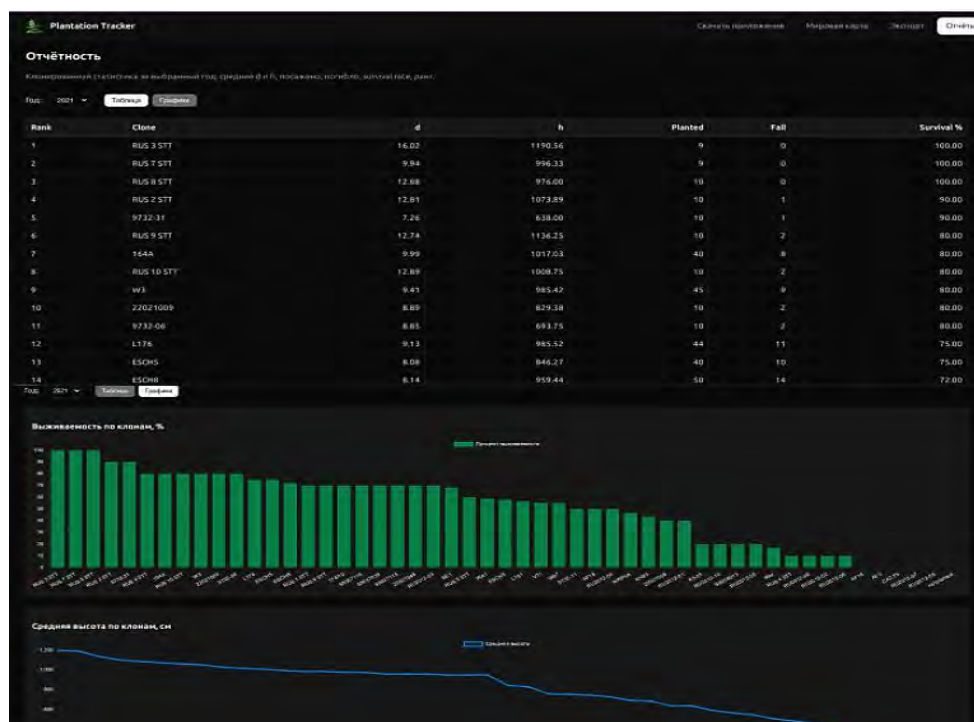


Рисунок 3. Аналитический отчёт: сохранность и средние показатели клонов (2021 г.)

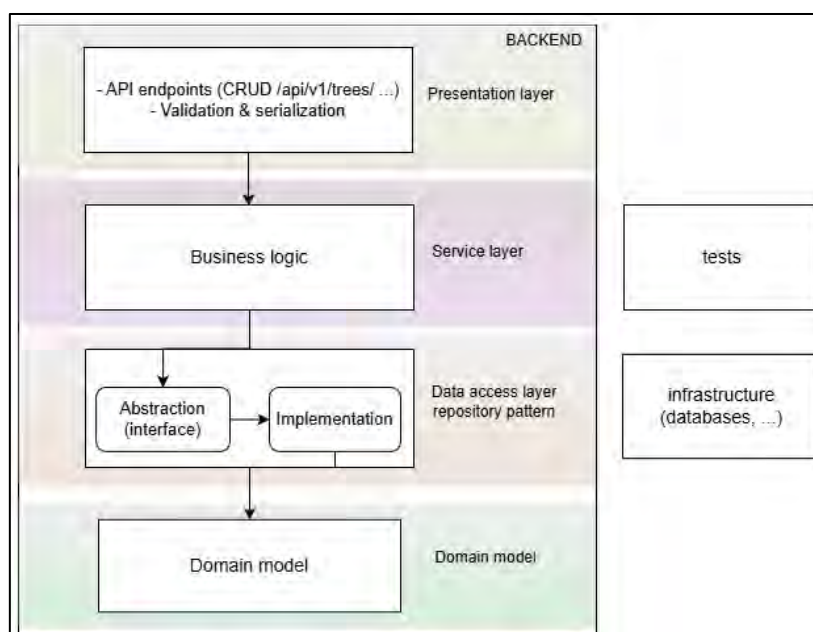


Рисунок 4. Слоистая архитектура серверной части приложения (бэкенда)

Уровень доступа к данным, построенный по паттерну «Repository», абстрагирует работу с механизмами хранения. Реализации репозитория на базе SQLAlchemy инкапсулируют логику взаимодействия с СУБД PostgreSQL, предоставляя сервисному слою унифицированный интерфейс доступа к данным.

Сервисный уровень координирует выполнение прикладных сценариев, реализует сквозную функциональность и служит точкой интеграции для расширения системы, включая возможное внедрение механизмов авторизации и алгоритмов машинного обучения.

Уровень представления, реализованный средствами FastAPI и Pydantic, предоставляет RESTful API с эндпоинтами для операций с данными, их экспорта и получения аналитической отчетности, обеспечивая валидацию и сериализацию передаваемых данных.

Таким образом, разработанная система позволяет устранить ключевые недостатки традиционных методов, а именно: необходимость ручной записи измерений на бумажные носители и последующих трудоёмких расчетов. Ожидается, что внедрение системы позволит минимизировать временные затраты на обработку данных и снизить риски, связанные с человеческим фактором за счёт встроенной валидации вводимой информации и автоматизации формирования отчётов.

Архитектурные решения на основе слоистой структуры серверной части и компонентного подхода на клиентской стороне обеспечивают сопровождаемость и масштабируемость системы. Использование современных технологий (FastAPI, React, PWA) гарантирует высокую производительность и кроссплатформенность.

Для верификации практической эффективности системы запланировано проведение натурных испытаний в реальных полевых условиях. Перспективы развития связаны с внедрением механизмов аутентификации, систем тестирования и алгоритмов машинного обучения для прогнозной аналитики.

Библиографический список

1. Бойцов, А. К. Десятилетние селекционные испытания по выращиванию клонов гибридной осины и других гибридных тополей в условиях северо-запада России / А. К. Бойцов, А. В. Жигунов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2023. – № 3. – С. 38-52. – DOI 10.21178/2079-6080.2023.3.38.
2. Гаспарян, Г. Д., Давтян А.Б. Цифровая платформа для создания лесных плантаций // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием (22 мая 2020 г.). Петрозаводск. – 2020. – С. 42.
3. ГИС Зеленая инфраструктура городов [Электронный ресурс]. URL: <https://map.zigbel.ru> (дата обращения: 07.11.2025)
4. Карта деревьев Екатеринбурга EkbTrees [Электронный ресурс]. URL: <https://ekb-trees-help.ru> (дата обращения: 07.11.2025)
5. Малашевич, И. И. Эффективность развития лесного хозяйства в условиях цифровизации / И. И. Малашевич, Д. Г. Малашевич // Цифровизация: экономика и управление производством: материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 24 января–16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 311-314
6. Мсерьян, Д.А. Актуальные подходы к обеспечению целостности и достоверности таксационных данных в процессе хранения и обработки для эффективного управления лесными ресурсами / Д.А. Мсерьян, А.К. Бойцов // Цифровые технологии прикладных научных исследований: Материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 03–04 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: ООО "Реноме", 2025. – С. 113-118.
7. Watch G. F. Global forest watch [Электронный ресурс] // World Resources Institute, Washington, DC. URL: <https://globalforestwatch.org> (дата обращения: 28.10.2025)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРОФИЛЕЙ СТВОЛОВ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ

Симонова Н.В., Гурьянов М.О., Савченко А.Г.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

COMPARATIVE ANALYSIS OF EUROPEAN SPRUCE TRUNK PROFILE MODELS

Simonova N.V., Guryanov M.O., Savchenko A.G.

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

Аннотация. На примере деревьев ели европейской проведено исследование основных моделей, описывающих профили древесных стволов, информация о которых имеет большое практическое и научное значение.

Ключевые слова: форма древесного ствола, сбег древесного ствола, коэффициенты формы, старое видовое число, модели профилей стволов, ель европейская.

Abstract. Using the example of European spruce trees, a study was conducted on the main models describing the profiles of tree trunks, which is of great practical and scientific importance.

Keywords: tree trunk shape, taper of a tree trunk, form coefficients, old species number, tree trunk profile models, European spruce.

Введение. Форма стволов является одним из основных таксационных показателей отдельных деревьев, имеющим большое значение как в лесной науке, так и практической деятельности. При этом существуют некоторые сложности определения этого показателя, связанные со сбегом, - уменьшением диаметров стволов от основания к вершине, зависящим от множества факторов, разнообразие которых затрудняет прогноз и описание профилей стволов.

В случае, если для более подробной сортиментной оценки леса на корню, оценки прироста фитомассы стволовой древесины в рамках углеродных проектов [1] и иных целей нужна более подробная информация о профилях стволов, наиболее точным из существующих методов является лазерное сканирование. Вместе с тем, учитывая достаточно высокую стоимость оборудования, данный метод в настоящее время еще не получил широкого распространения. Альтернативой является математическое моделирование, позволяющее на основании ряда замеров, осуществимых с помощью современного лесотаксационного оборудования, в частности, Vertex Laser II, получить данные о профилях стволов.

Целью предлагаемого исследования являлось изучение моделей, описывающих образующую древесного ствола – кривую, которая ограничивает его продольное сечение.

Объектами исследования стали 50 деревьев ели европейской (*Picea abies L. H.Karst.*) четвертого класса возраста, произрастающие на трех постоянных пробных площадях (ППП) во 2 квартале Учебно-опытного лесничества Ленинградской области. Рассматриваемые пробные площади были заложены в ельниках черничного типа леса.

Методика работ. Сбор данных производился на ППП, заложенных в рамках проекта «Ритм углерода» при участии сотрудников кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного

лесотехнического университета им. С.М. Кирова. Во время полевой части исследования, помимо измерения высот и диаметров на высоте груди, была проведена фотосъемка каждого из обследованных деревьев ели европейской. Снимки делались на максимально возможном расстоянии от ствола дерева таким образом, чтобы на снимках он не был обрезан сверху или снизу, хорошо просматривался, а также не был перекрыт ветвями соседних деревьев или другим объектами, мешающими дальнейшей обработке снимков.

В дальнейшем была проведена обработка полученных фотоизображений в программах Adobe Photoshop и AutoCAD, включающая в себя масштабирование снимков, оконтуривание профилей стволов и определение диаметров деревьев на разных высотах с шагом в 1 м. Полученные таким образом данные об абсолютном действительном сбеге в дальнейшем были использованы для сравнительного анализа точности их описания с помощью ряда математических моделей.

Среди рассмотренных в исследовании моделей, описывающих профили стволов, нами были выбраны следующие:

1. Степенная функция (1):

$$D_i = b \cdot dH_i^a, \quad (1)$$

где, D_i – диаметр в i -ой точке ствола, находящейся на расстоянии dH_i от его вершины, a , b – параметры, отражающие форму ствола. [2]

2. Полином третьего и четвертого порядка (2):

$$D = \sum_{i=1}^k a_i H^i, \quad (2)$$

где, D – диаметр ствола на высоте, отчитываемой от его основания, k – порядок полинома, H – высота дерева. [2]

3. Формула А. Козака:

$$\frac{d^2}{d_{1,3}^2} = c \left(1 - 2 \frac{h}{H} + \frac{h^2}{H^2} \right), \quad (3)$$

где, d и h – текущие диаметры и высоты, а H – высота дерева. [2]

4. Функция К. Бринка (рис. 1):

$$d(h) = i + (d_b - i)e^{p(b-h)} - \frac{pi}{p+q} [e^{q(h-H)} - e^{q(b-H)+p(b-h)}], \quad (4)$$

где, $d(h)$ – диаметр на высоте h , h – высота, i – асимптотический радиус, d_b – радиус на высоте груди, p – параметр, описывающий нижнюю часть ствола, b – высота груди (1,3 м), q – параметр, описывающий верхнюю часть ствола, H – общая высота дерева. [3]

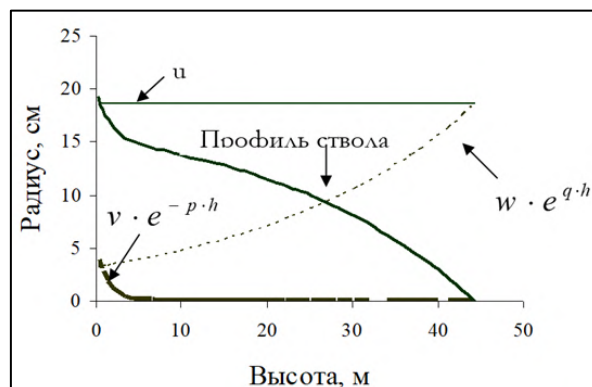


Рисунок 1. Составляющие профиля ствола в функции Бринка.

5. Функция Пейна (рис. 2):

$$d_i(hr) = \alpha(1 - hr^3) + \beta(\ln(hr)) , \quad (5)$$

где d_i – диаметр на высоте h_i , hr – относительная высота (от 0 до 1), α , β – параметры.[4]

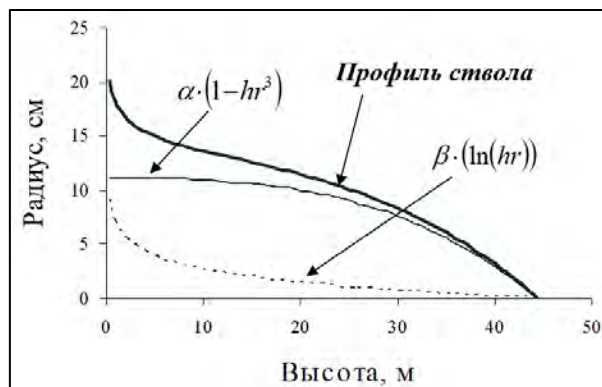


Рисунок 2. Составляющие профиля ствола в функции Пейна

По выбранным моделям профилей стволов в программе Statgraphics был проведен регрессионный анализ, позволивший определить их параметры, а также оценить точность аппроксимации с помощью коэффициента детерминации R^2 .

Для более подробного анализа, была оценена изменчивость параметров моделей и их взаимосвязь с таксационными показателями формы стволов, влияющими на предсказуемость параметров моделей и возможность их дальнейшего обобщения в зависимости от древесных пород, условия местопроизрастания и прочих факторов.

Результаты. Анализ коэффициентов детерминации R^2 , используемых для оценки точности аппроксимации, показал, что каждая из рассмотренных моделей обладает достаточно высокой точностью. Так, средние значения коэффициентов детерминации варьировали в пределах от 89,89 до 98,89%. (табл. 1). Наибольшие их значения наблюдались у моделей Бринка и полиномиальных функций, наименьшие - у формулы А. Козака.

Таблица 1

Значения коэффициентов детерминации R^2 по моделям профилей стволов

Коэффициент детерминации	Модели профилей стволов					
	Степенная ф-ция	Полином 3 порядка	Полином 4 порядка	Формула А. Козака	Ф-ция Бринка	Ф-ция Пейна
Минимальный	90,08	95,61	96,47	71,90	95,19	90,45
Средний	97,37	98,66	98,89	89,89	98,52	97,50
Максимальный	99,83	99,82	99,95	97,83	99,69	99,67

Помимо точности моделей, важную роль играет их применимость, зависящая от количества и простоты определения независимых переменных, а также количества и изменчивости параметров моделей. Для оценки последней, в ходе исследования по полученным для каждого из рассмотренных деревьев величинам были определены основные статистические показатели параметров – средние арифметические значения,

средние квадратические отклонения, минимальные и максимальные значения и коэффициенты вариации.

Высокая изменчивость параметров моделей затрудняет их прогноз и обобщение, что негативно сказывается на применимости. С целью оценки данного критерия, по данным обработки каждого из рассмотренных в ходе исследования деревьев были вычислены коэффициенты вариации как каждого из параметров отдельно, так и в среднем по всем параметрам в пределах моделей (рис. 3).

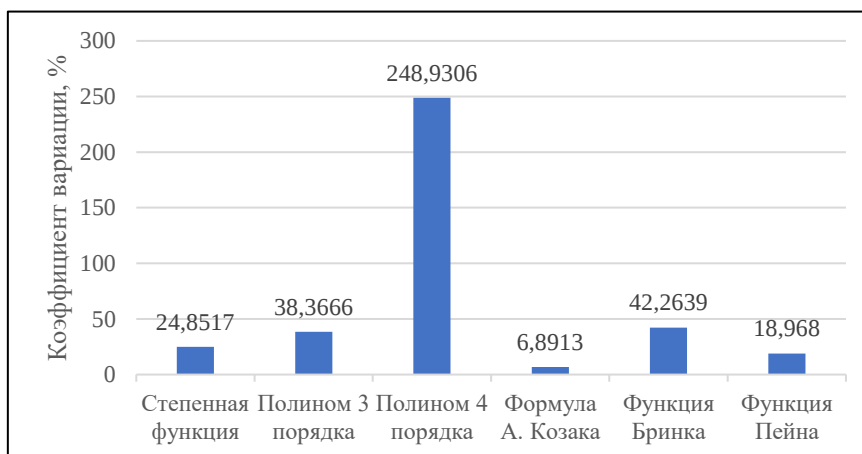


Рисунок. 3. Средние значения коэффициентов вариации по моделям профилей стволов

Как видно из рис. 3, в целом наибольшей изменчивостью обладают параметры полинома четвертого порядка. Наименьшая изменчивость наблюдается у степенной функции, а также моделей Козака и Пейна. Но для модели Козака данное преимущество не может компенсировать минимальную из рассмотренных моделей точность аппроксимации. И наоборот, точность модели Бринка, а также наличие математического смысла ее параметров, характеризующих, как и у модели Пейна, образующие формы ствола математические фигуры, дает основания рекомендовать ее для описания профилей стволов ели европейской.

В математическом моделировании большую роль играет интерпретация параметров моделей и установление их взаимосвязи с ключевыми характеристиками изучаемых объектов. Для оценки взаимосвязи между параметрами моделей и основными таксационными показателями (высота, диаметр на высоте груди, коэффициент формы q_2 и старое видовое число), был проведен парный корреляционный анализ, показавший, что для всех моделей, кроме полиномиальных существует достоверная корреляция параметров моделей с коэффициентами формы и видовыми числами. Данные взаимосвязи в дальнейшем могут быть использованы для обобщения моделей в пределах древесных пород, а также упрощения прогноза параметров.

Выводы. На основании вышеизложенного можно отметить, что каждая из рассмотренных моделей с высокой точностью описывает форму древесных стволов. С учетом таких дополнительных критериев, как количество и изменчивость параметров моделей и наличие их взаимосвязи с таксационными показателями деревьев, наиболее перспективными можно назвать степенную функцию, и модели Бринка и Пейна. Их дальнейшее использование позволит с высокой точностью получать данные о профилях растущих деревьев на основании замеров диаметров в нескольких точках.

Библиографический список

1. Антанайтис В. В. Прирост леса. / В. В. Антанайтис, В. В. Загребев – 2-е изд., перераб. – М.: Лесн. пром-ть, 1981. – 200 с.
2. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев. – Новосибирск: Издательство «Наука», 1986 год. – 211 с.
3. Brink C., Gadow K. v., On the use of growth and decay functions for modelling stem profiles // EDV in Medizin u. Biologie, 1986, № 17 p. 20-27.
4. Pain O, Boyer E. A whole individual tree growth model for Norway spruce. Workshop IUFRO S5; Nancy: INRI-Nancy; 1996. 01-04-Topic 1

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОГО
ХОЗЯЙСТВА**

Материалы IX международной молодежной
научно-практической конференции
13–14 ноября 2025 года
The actual issues of forestry
International youth scientific-practical
conference November 13–14, 2025

Ответственный редактор: Павлов В.С.

Редакторы: Павлов В.С., Колмогорова С.С., Бойцов А.К., Иванов С.А.

В авторской редакции с готового оригинал-макета

Формат 60×84/16. Усл. п. л. 6.5 Заказ № 120 С 232

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер, 5, лит У