

Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»  
Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

ISSN 2311-1410

# Сибирский лесной журнал

Номер 5  
Сентябрь–Октябрь 2024



ФГБУ «Сибирское отделение  
Российской академии наук»  
Новосибирск

FEDERAL RESEARCH CENTER KRASNOYARSK SCIENTIFIC CENTER  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, SIBERIAN BRANCH  
V. N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, SIBERIAN BRANCH

**SIBERIAN JOURNAL OF FOREST SCIENCE**

Number 5 September–October 2024

Peer-reviewed Scientific Journal. Established January 2014

**Founder:** Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch

**Published bimonthly**, 6 times per year  
ISSN 2311-1410 (Print), ISSN 2312-2099 (Online)

**Editor-in-Chief**

Alexander A. Onuchin  
onuchin@ksc.krasn.ru

**Associate Editors-in-Chief**

Igor M. Danilin, Tamara S. Sedel'nikova  
danilin@ksc.krasn.ru, tss@ksc.krasn.ru

**Managing Editor**

Larisa N. Skripal'schikova  
lara@ksc.krasn.ru

**Associate Editors**

Galina F. Antonova (RF), Natalia E. Antonova (RF), Stanislav P. Arefyev (RF), Sezgin Ayan (Turkey), Vladimir F. Baginskiy (Belarus), Eugene V. Banaev (RF), Yuri N. Baranchikov (RF), Kirsten Barrett (UK), Sergei A. Bartalev (RF), Sergei M. Bebiya (Abkhazia), Alexander I. Belyaev (RF), Vera E. Benkova (RF), Kapitolina S. Bobkova (RF), Jiquan Chen (USA), Tumen N. Chimitdorziyev (RF), Chimidnyam Dorjsuren (Mongolia), Chultem Dugarjav (Mongolia), Alexey A. Dymov (RF), Steve Eubanks (USA), Svetlana Yu. Evgrafova (RF), Sergey N. Goroshkevich (RF), Irina D. Grodnitskaya (RF), Andrei N. Gromtsev (RF), Georg Guggenberger (Germany), Alexander P. Isaev (RF), Galina A. Ivanova (RF), Vladislav N. Kalaev (RF), Olga V. Kalugina (RF), Vyacheslav I. Kharuk (RF), Alexander V. Kirryanov (RF), Natal'ya I. Kirichenko (RF), Alexander P. Kovalev (RF), Yuri N. Krasnoshchekov (RF), Konstantin V. Krutovsky (RF, Germany), Alexander M. Kryshen (RF), Konstantin N. Kulik (RF), Andrei N. Kupriyanov (RF), Qinglin Li (Canada), Sune Linder (Sweden), Sergei R. Loskutov (RF), Tatyana A. Moskalyuk (RF), Elena N. Muratova (RF), Sergei V. Osipov (RF), Igor N. Pavlov (RF), Heli Peltola (Finland), Viliam Pichler (Slovakia), Alexander V. Pimenov (RF), Anatoly S. Prokushkin (RF), Olga A. Shapchenkova (RF), Dmitriy G. Schepaschenko (RF, Austria), Christiane Schmuilius (Germany), Olga V. Shergina (RF), Alexander S. Shishikin (RF), Svetlana D. Shlotgauer (RF), Anatoly Z. Shvidenko (RF, Austria), Vladimir A. Sokolov (RF), Vladimir V. Soldatov (RF), Vladislav G. Soukhovolsky (RF), Ge Sun (USA), Vyacheslav V. Tarakanov (RF), Alexander N. Tashev (Bulgaria), Elena E. Timoshok (RF), Josef Urban (Czechia), Vladimir V. Usenya (Belarus), Vladimir A. Usoltsev (RF), Eugene A. Vaganov (RF), Viktor I. Voronin (RF), Chuankuan Wang (China), Adam X. Wei (Canada), Yulay A. Yanbaev (RF), Vasily T. Yarmishko (RF)

**Leading Editor**

Tatyana A. Nikitina

**Scientific Editor**

Kseniya A. Kryukova

**Technical Editor**

Tatyana R. Pantyukhina

*Address for journal office:*

Russian Federation, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Editorial office for the Siberian Journal of Forest Science  
Phones: +7 (391) 249-4639; +7 (391) 290-5516; E-mail: lara@ksc.krasn.ru  
Web: sibjforsci.com; сибирскийлеснойжурнал.рф

Novosibirsk

Siberian Branch of the Russian Academy of Science

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В. Н. СУКАЧЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК –  
ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН)

## СИБИРСКИЙ ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

№ 5 2024 Сентябрь–Октябрь

Научный журнал. Издается с января 2014 г.

**Учредитель:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Федеральный исследовательский центр  
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

**Периодичность** – 6 номеров в год  
ISSN 2311-1410 (печатное издание), ISSN 2312-2099 (сетевое издание)

*Главный редактор*  
А. А. Онучин

### Редакционная коллегия:

Г. Ф. Антонова (РФ), Н. Е. Антонова (РФ), С. П. Арефьев (РФ), С. Аян (Турция), В. Ф. Багинский (Беларусь),  
Е. В. Банаев (РФ), Ю. Н. Баранчиков (РФ), К. Баррет (Великобритания), С. А. Бартаев (РФ), С. М. Бебия (Абхазия),  
А. И. Беляев (РФ), В. Е. Бенькова (РФ), К. С. Бобкова (РФ), Е. А. Ваганов (РФ), Ч. Ван (Китай), А. Х. Вен (Канада),  
В. И. Воронин (РФ), С. Н. Горшкевич (РФ), И. Д. Гродницкая (РФ), А. Н. Громцев (РФ), Г. Гуггенбергер (Германия),  
И. М. Данилин (*зам. главного редактора*, РФ), Ч. Доржсурэн (Монголия), Ч. Дугаржав (Монголия), А. А. Дымов (РФ),  
С. Ю. Евграфова (РФ), Г. А. Иванова (РФ), А. П. Исаев (РФ), В. Н. Калаев (РФ), О. В. Калугина (РФ), А. В. Кирдянов (РФ),  
Н. И. Кириченко (РФ), А. П. Ковалев (РФ), Ю. Н. Краснощеков (РФ), К. В. Крутовский (РФ, Германия), А. М. Крышень (РФ),  
К. А. Крюкова (*научный редактор*, РФ), К. Н. Кулик (РФ), А. Н. Куприянов (РФ), Ж. Ли (Канада), С. Линдер (Швеция),  
С. Р. Лоскутов (РФ), Т. А. Москалюк (РФ), Е. Н. Муратова (РФ), С. В. Осипов (РФ), Т. А. Никитина (*ведущий редактор*, РФ),  
И. Н. Павлов (РФ), Х. Пелтола (Финляндия), А. В. Пименов (РФ), В. Пихлер (Словакия), А. С. Прокушкин (РФ),  
Т. С. Седельникова (*зам. главного редактора*, РФ), Л. Н. Скрипальщикова (*отв. секретарь*, РФ), В. А. Соколов (РФ),  
В. В. Солдатов (РФ), Г. Сун (США), В. Г. Суховольский (РФ), В. В. Тараканов (РФ), А. Н. Ташев (Болгария),  
Е. Е. Тимошок (РФ), Й. Урбан (Чехия), В. В. Усень (Беларусь), В. А. Усольцев (РФ), В. И. Харук (РФ), Д. Чен (США),  
Т. Н. Чимитдоржиев (РФ), О. А. Шапченкова (РФ), А. З. Швиденко (РФ, Австрия), О. В. Шергина (РФ),  
А. С. Шишкин (РФ), С. Д. Шлотгауэр (РФ), К. Шмуллиус (Германия), Д. Г. Щепаченко (РФ, Австрия),  
С. Юбанкс (США), Ю. А. Янбаев (РФ), В. Т. Ярмишко (РФ)

*Адрес редакции:* 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28, ИЛ СО РАН  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Федеральный исследовательский центр  
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»  
Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук –  
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН)

Редакция «Сибирского лесного журнала»  
Телефоны: (391) 249-4639; (391) 290-5516  
E-mail: lara@ksc.krasn.ru  
Интернет-сайт: [сибирскийлеснойжурнал.рф](http://сибирскийлеснойжурнал.рф), [sibjforsci.com](http://sibjforsci.com)

Новосибирск  
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирское отделение Российской академии наук»

© Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр  
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 2024  
© Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук –  
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН), 2024



### Основная тематика журнала:

лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация  
структура, динамика и функционирование лесных экосистем  
биосферные функции леса, их изменения под влиянием глобальных и региональных  
климатических процессов и антропогенных воздействий  
география, экология и типология лесов  
лесная генетика, селекция и интродукция, дендрология  
лесное ресурсоведение, ботаника, этноботаника  
лесные культуры  
физиология и биохимия лесных растений  
биотехнология, древесиноведение, химическая переработка древесины и недревесных продуктов леса  
дендрохронологические исследования  
лесная гидрология  
лесная пирология  
лесные зоокомплексы  
лесная фитоценология  
лесное почвоведение  
лесная микробиология  
лесная фитопатология и защита леса  
лесомелиорация и лесная рекультивация  
лесная политика, экономика, управление лесами, лесное законодательство  
дистанционные и геоинформационные методы в оценке биосферных функций леса

Журнал представляет собой мультидисциплинарное рецензируемое научное издание, освещающее широкий спектр вопросов лесоведения, лесоводства, лесоустройства, лесной таксации, генетики и селекции, лесной экологии и экономики – наук о сложнейших закономерностях структуры, формирования и развития лесных экосистем и использования лесных ресурсов человеком.

«Сибирский лесной журнал. Siberian Journal of Forest Science» (ISSN 2311-1410 (печатное издание), ISSN 2312-2099 (сетевое издание)) публикуется Федеральным государственным бюджетным учреждением «Сибирское отделение Российской академии наук» на русском и английском языках.

«Сибирский лесной журнал» включен в российскую систему научного цитирования eLibrary.ru (РИНЦ), международные реферативные базы данных: Ulrichsweb: Global Serials Directory, Directory of Open Access Journals (DOAJ), AGRIS, CABI Forest Science Database, Перечень периодических научных изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ (категория К2), готовится к включению в международные реферативные базы данных научной периодики и цитирования: Springer, Scopus, Web of Science. Полнотекстовые статьи размещаются на сайте журнала в сети: сибирскийлеснойжурнал.рф, sibjforsci.com.

«Сибирский лесной журнал» предполагает следующие разделы: «Обзорные статьи», «Исследовательские статьи», «Краткие сообщения», «Рецензии», «Хроника», «Международное сотрудничество». В нем освещаются самые разные вопросы, касающиеся проблем биологического разнообразия лесов на всех уровнях его организации (генетическом, видовом, экосистемном). Публикуются статьи по антропогенной и техногенной трансформации лесных экосистем. Журнал не ограничивается лесными проблемами Сибири, принимает и публикует материалы из различных регионов мира, представляющие общенаучный интерес.

Подготовлено к печати Федеральным государственным бюджетным учреждением  
«Сибирское отделение Российской академии наук»

Ведущий редактор Т. А. Никитина

Научный редактор К. А. Крюкова

Дизайн обложки С. Р. Лоскутов

Техническое редактирование и верстка Т. Р. Пантюхина

---

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации:

Периодическое печатное издание, журнал – ПИ № ФС 77-68699 от 09 февраля 2017 г.

Сетевое издание – ЭЛ № ФС 77-70737 от 15 августа 2017 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Федеральный исследовательский центр

«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

---

Сдано в набор 07.10.2024. Выход в свет 31.10.2024. Бумага типографская. Формат 60 × 84 1/8

Усл. печ. л. 14.4. Уч.-изд. л. 12.6. Тираж 100 экз. Заказ № 250. Цена свободная.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирское отделение Российской академии наук»  
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 17

Отпечатано в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Сибирское отделение Российской академии наук»  
630090, г. Новосибирск, Морской просп., 2

Тел.: 8 (383) 330-8466; электронная почта: e.lyannaya@sb-ras.ru; <http://www.sibran.ru>

## В ПОРЯДКЕ ДИСКУССИИ

УДК 574.47+582.475.4

### СТРУКТУРА ПУЛА ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ В СОЦИУМАХ БОЛОТНЫХ И СУХОДОЛЬНЫХ СОСНЯКОВ МЕЖДУРЕЧЬЯ ОБИ И ТОМИ

#### СООБЩЕНИЕ I. МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru, efr2@ksc.krasn.ru, pimenov@ksc.krasn.ru, tss@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 01.07.2024 г.

Обоснована целесообразность разработки новых методов оценки отклика древесных растений на воздействия факторов внешней среды с акцентом на изменчивость структуры пула годичных колец древесины. Диагностика и интерпретация распределенного пула колец рассматриваются с учетом социума леса в связи с различными интервалами их изменчивости по знакам годичных приростов. Актуализирована необходимость особого внимания к гидроморфным местопроизрастаниям, отличающимся от суходолов более сложным набором факторов среды, определяющих рост и развитие деревьев на болотах различных типов водно-минерального питания. Обсуждаются исторически созвучные с настоящим исследованием традиционные отечественные подходы к оценке биологической и технической спелости древесины, позволяющие идентифицировать редкие и наиболее ценные сортаменты в болотных лесах. В контексте реализации поставленных задач обоснована целесообразность изучения сосновых лесов лесоболотных комплексов северной части междуречья Оби и Томи, существенно различающихся между собой по происхождению и локализации в рельефе, возрастной структуре, условиям водно-минерального питания, типологической специфике и продуктивности напочвенной растительности. Охарактеризованы биоэкологические особенности этого региона, где целевым поиском найдены и изучены однородные по составу моновидовые древостои избыточно влажных и суходольных сосняков, представленных сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Основной акцент сделан на экологических рядах местообитаний и типологической характеристике сосняков. Представленная информация предваряет сущностное изложение результатов исследования во второй части настоящей статьи: «Сообщение II. Экспериментально-аналитические аспекты», отражая их репрезентативность и экстраполяционный потенциал.

**Ключевые слова:** болота, суходолы, сосна обыкновенная, экотопы, радиальный прирост.

DOI: 10.15372/SJFS20240501

#### МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лес – сложное биогеоценотическое явление, в котором сочетаются все свойства живой и неживой природы биосферы суши планеты Земля. В книге И. В. Семечкина «Социум леса» (2020) лес определяется как природная или искусственная экосистема, основным продуцентом и эдификатором которой является древостой, об-

разованный интегрированной во времени и пространстве совокупностью совместно растущих деревьев одного или нескольких лесобразующих видов, дифференцированных экологическими требованиями и конкурентными взаимоотношениями. Г. Ф. Морозов (1913) в числе основных составляющих лесообразовательного процесса считал «биосоциальные» (фитосоциальные) отношения растений в древостое, т. е. разделение деревьев на социальные классы. Главными

факторами этого разделения выступают конкуренция, густота и возраст древостоя, связанные с типом условий его местопроизрастания. Понятие «фитосоциология» впервые было введено И. К. Пачоским (1891). Впоследствии новое научное направление развивали известные русские ботаники и лесоводы – П. Н. Крылов (1898), В. Н. Сукачев (1915а, б, 1928), Г. Ф. Морозов (1913, 1922, 1931), Н. В. Третьяков (1927). В. Н. Сукачев (1928, с. 46) считал, что «лесные сообщества среди других сообществ являются наиболее высоко развитыми в социальном отношении». Различным аспектам фитосоциальной структуры леса посвящены также работы современных исследователей (Маслаков, Кузнецов, 1992; Маслаков и др., 1999; Суховольский, 2004; Линник, 2013; Foster et al., 2016; Шмерлина, 2019; Семечкин, 2020; Sun et al., 2021). Большой интерес представляют публикации зарубежных авторов, связанных с разработкой новых методических приемов в исследованиях годичных колец, учитывающих биоморфологические и пространственные особенности, а также динамические аспекты структуры древостоев (Nehrbass-Ahles et al., 2014; Xu et al., 2019).

Весьма перспективным представляется применение фитосоциального подхода к исследованию лесоболотных комплексов Сибири, уделяя особое внимание, уделяемое в последние десятилетия обновлению классических и созданию новых методов распознавания их отклика на воздействия глобально-климатических, локально-экологических, антропогенных и стихийных изменений факторов среды (Ваганов, Качаев, 1992; Пименов, Ефремов, 2009; Демаков, 2023; Кнорпе, 2023; van Mantgem et al., 2023). В поясе таежного биома недостаток инсоляции и тепла обуславливает в заболоченных лесах короткие сроки вегетации растений, из которых мезофитные группы, включающие лесообразующие и сопутствующие им подлесочные виды, приобрели специфические ритмы роста, особенно по признакам ежегодно накапливаемой фитомассы. Наиболее отчетливо диагностируемым признаком этой функции служит изменчивость ширины годичных колец стволов, ветвей и корней. Но даже в одном и том же болотном древостое, как правило, отсутствует однозначная норма реакции годичных колец разных деревьев на воздействие сигналов внешней среды (Пименов, Ефремов, 2009; Тишин и др., 2014).

Компоненты социума древостоев в пределах торфяно-болотных массивов обладают различными по чувствительности, четкости и вре-

менным периодам проявлениями реактивной экспрессии на воздействие факторов среды. Это связано с уникальной спецификой гидроморфных местопроизрастаний, отличающихся более сложной по сравнению с суходолами «линейной» факторов, «суммирующих» на протяжении онтогенеза деревьев не только современные, но и бывшие ряды избыточного увлажнения корнеобитаемых горизонтов почвы и обуславливающих различные темпы заболачивания суши и накопления пластов торфяных залежей. Древесная растительность болот таежного биома, произрастающая в неблагоприятных почвенно-гидрологических условиях, подвергается дополнительным рискам вымочек древостоев и подростов, ранних промерзаний залежей, поздних деградаций в почве мерзлотных водупоров, медленного прогрева почв и почвенной влаги под кронами деревьев, лесными подстилками, дерновинами мхов и лишайников, иным стрессовым воздействиям. Отсюда совершенно очевидна актуализация исследований в части оценки разнообразия пула годичных колец по типам условий их формирования применительно к болотным и суходольным древостоям, которая определяет основную цель и задачи настоящей работы.

В тематическом отношении настоящее исследование напрямую связано с идеями, высказанными в ходе состоявшейся в 1976 г. (и кратко изложенной ниже) беседы С. П. Ефремова с тогдашним директором Института леса и древесины СО АН СССР, председателем Научного совета АН СССР по проблемам леса, академиком АН СССР Анатолием Борисовичем Жуковым. На вопрос о причинах отсутствия в стране открытых торгов лесом «на корню» вообще, а лесами на болотах тем более, последовал ответ, что у нас не только открытые, но и закрытые торги запрещены. Кроме того, он сказал, что болотные леса – категория масштабная, но сложная и пока второстепенная, поскольку еще слабо изученная. К ним не просто даже физически подобраться, хотя и среди них есть немало продуктивных древостоев с очень красивой текстурой древесины, особенно комлевой части стволов и крупных корней болотных экотипов кедра (*Pinus sibirica* Du Tour), лиственницы (*Larix* Mill.), ели (*Picea* A. Dietr.), березы (*Betula* L.). К сожалению или к счастью, сейчас все леса принадлежат государству, которому нелогично и юридически нелепо что-то выставлять на продажу и одновременно покупать самому у себя. Но для пользования древесиной в личных целях издавна «от бога»

сохранилась попенная плата за рубку леса в казну государства, ее размер всегда был и остается сравнительно небольшим. Промышленное же пользование лесом, включая его экспорт, идет в основном в плановом порядке. При этом выгода нынешних торгово-денежные расчетов для судьбы леса не очевидна (в молодости А. Б. Жуков принимал участие в торговле лесом «на корню» в различных регионах юга страны и считал, что эта уже ушедшая технология была более справедлива в отношении сбережения российских лесов). Стоит отметить, что в части оценок природного и хозяйственного значения лесов, товарно-технической спелости древесины, обоснованности практических решений на их основе, позиции академика А. Б. Жукова не всегда совпадали с принятыми в стране так называемыми общественными и государственными устремлениями рационального использования полезностей отечественных лесов.

Согласно А. Б. Жукову, издавна введенная и признанная в России визуально-выборочная система оценки товарных достоинств, выставленных к продаже «на корню» различных категорий лесных угодий, всегда предусматривала в первоочередном порядке установление типа условий произрастания деревьев на конкретном выделе. И лишь только с учетом этого начинались обсуждения количественных и качественных показателей торгуемых древостоев. Совершенно особое значение придавалось обсуждению признаков возрастной (биологической) и деловой (технической) спелости самой древесины. Системой свободных торгов лесом «на корню» допускались контрольные повалы на выбор 2–3 деревьев с обмерами и разделкой стволов на отрубы по сортиментам. Поделочные и дровяные распилы крупных скелетных сучьев, мощных опорных корней и пней даже оживляли ход самих торгов, ведь каждый древесный кусок на торгах имел своего покупателя, а значит, и цену. Задача торгов состояла, во-первых, в установлении возраста выбранных деревьев, а через них, с некоторой долей вероятности, всего древостоя; во-вторых, и это, пожалуй, главное – в выяснении «на глаз» или с помощью увеличительного стекла последовательности чередований годичных колец, особенно в наиболее спелой ядровой древесине по сравнению со структурой заболонной части. По факту устанавливалось, какие кольца и их группы на спилах стволов преобладают равномерно одинаковые или неравномерно разные, контрастные, с хаотичным разбросом по ширине. Последнее обстоятельство покупателя

высокосортной древесины всегда настораживало или вынуждало отказываться от участия в торгах, поскольку бревна, пиловочные материалы и изделия из древесины с неравномерной шириной годичных колец имеют неприятную способность к короблению при эксплуатации.

А. Б. Жуков упоминал работы известных в те времена специалистов, занимавшихся практическими вопросами научной диагностики и экономической оценки древесного сырья из экологически контрастных условий произрастания, включая болота. «Болотная» древесина, мелкослойная, но сырая и долго сохнущая, дающая небольшой выход пиловочника, в южных районах страны к открытым торгам допускалась в крайних случаях. Однако болотные древостои на юге несопоставимы с сибирскими заболоченными лесами по качественным и количественным масштабам стволовой древесины хвойных и лиственных пород. Но, по мнению А. Б. Жукова, интересная тема нормативно-технической изменчивости параметров годичных колец болотной древесины и в Сибири еще долго не будет востребована предприятиями лесопромышленного комплекса. А заниматься ею, конечно, следует, в том числе и нашему Институту леса. Таким образом, приведенные факты и суждения академика А. Б. Жукова показывают, что цели, задачи и методы прошлых исследований лесных экосистем и древесного сырья в принципе не утратили своей «наследственной» значимости в научных и практических реалиях современного лесоводства, древесиноведения и лесопользования.

Актуальность исследования параметров годичных колец болотной древесины для феноменально заболоченной и криогенно зависимой Сибири предвидели в долгосрочной перспективе не только А. Б. Жуков, но и многие ведущие ученые страны. Другой директор Института леса академик РАН Евгений Александрович Ваганов по нашему приглашению осенью 1989 г. приехал на Томский стационар ознакомиться с разнообразием лесных болот междуручья Оби и Томи. Он поддержал нашу идею дифференцированной оценки фенотипического разнообразия лесообразующих видов в разных условиях произрастания, основываясь, прежде всего, на анализе сложной структуры пула годичных колец того или иного древостоя. Были осмотрены болотные сосняки – рямы, а попутно также болотные кедровники «согрового типа» на 7–8-метровых торфяных залежах. Из-за дефицита времени у гостя и транспортных огра-

ничений обзор объектов получился довольно кратким, поэтому удалось взять лишь керны стволовой древесины олиготрофных экотипов сосны (*Pinus L.*) на трех болотах. Результаты их камеральной обработки изложены в статье Е. А. Ваганова и А. В. Качаева (1992) с дендрохронологических позиций, близких с нашей идеей, но с несколько иных ракурсов.

### **БИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования проводились в сосновых древостоях северной части междуречья Оби и Томи, где находится один из многих относительно автономных в таежном поясе Западной Сибири лесоболотно-торфяных районов. Пространственное размещение экологически значимых болотных массивов и избыточно влажных сосняков в основном климаксовых стадий развития проходит практически по осевой линии водораздела.

**Гидрографическая характеристика объектов исследования.** Район произрастания сосняков охватывает характерные ландшафтные и гипсометрические местоположения трех лесоболотных массивов – Богородского на правом плече бассейна Оби, Тимирязевского и Темерчинского одновременно на правом и левом плечах бассейна Томи в Томском районе Томской области (рис. 1).

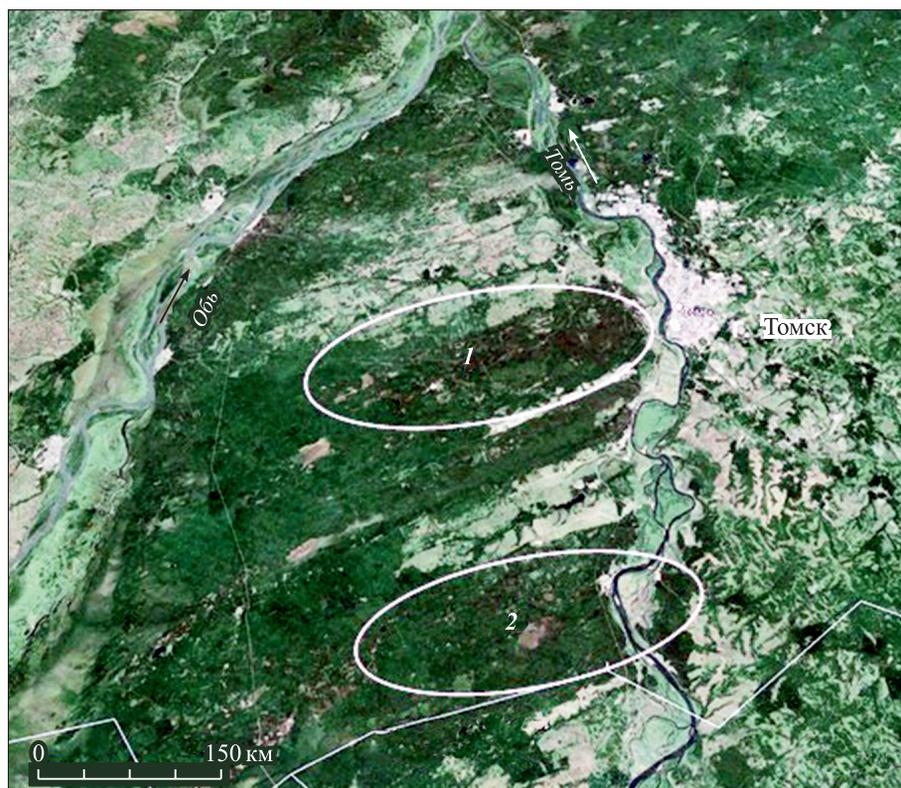
Наиболее высокие и залесенные ступени рельефа (167–195 м н. у. м.) принадлежат Темерчинскому лесоболотному массиву, где находится жемчужина междуречья – Калтайский бор. Его поверхность изобилует намытыми водами таявших алтайских и северных ледников песчаными гривами, буграми-останцами с пологими и крутыми склонами, бессточными и проточными седловинами между ними, многие из которых в той или иной степени заболочены и заторфованы. На южной границе с Новосибирской областью к нему примыкают площади двух больших проточных болот – Западный Таган и Таганское с цепочкой пресных озер. На северной ландшафтной границе Тимирязевского лесоболотного массива расположено болото Восточный Таган, являющееся древним заторфованным тальвегом с боковыми ложбинами стока и врезаным в торфяную залежь руслом р. Черная. Местами мощность торфа здесь достигает 6.5–7.5 м. Тальвег с рекой и ложбинами стока почти поперек прошивают водораздельную часть

междуречья Оби и Томи более чем на 50 км. В этом качестве они как бы дублируют заболоченные и озерные протяженности сопряженных бассейнов рек Жуковка и Еловка, относящихся к территории Тимирязевского лесоболотного массива с более низкими, чем в Темерчинском, ступенями водораздела и речных террас. В их заторфованных тальвегах, ложбинах, старицах и межгивных седловинах пласты торфяных залежей достигают максимума – 11.4 и 6.3 м соответственно. Сток этих, а также некоторых частично внутриболотных рек с притоками грунтово-напорных вод, типичных для территории Богородского лесоболотного массива, направлен в р. Томь. Река Ташлаир, стекающая с крупного торфяного массива с оз. Баксонское, и несколько других рек с рукавами ручьев мочажинно-болотного происхождения, впадают в р. Обь. Вдоль ее береговой линии в бывших озерных депрессиях ледникового периода залегают два крупных массива торфяных болот грунтово-напорного типа водно-минерального питания – Большие и Малые Кулманы. Около половины открытой площади последнего массива в середине 70-х годов прошлого столетия осушено каналами для опытно-производственного создания культур кедра, сосны и ели. Подробное устройство гидрографической сети, таксационная и фитоценотическая структура исследованных болотных и суходольных сосняков междуречья рассмотрены в нашем предыдущем сообщении (Ефремов и др., 2022).

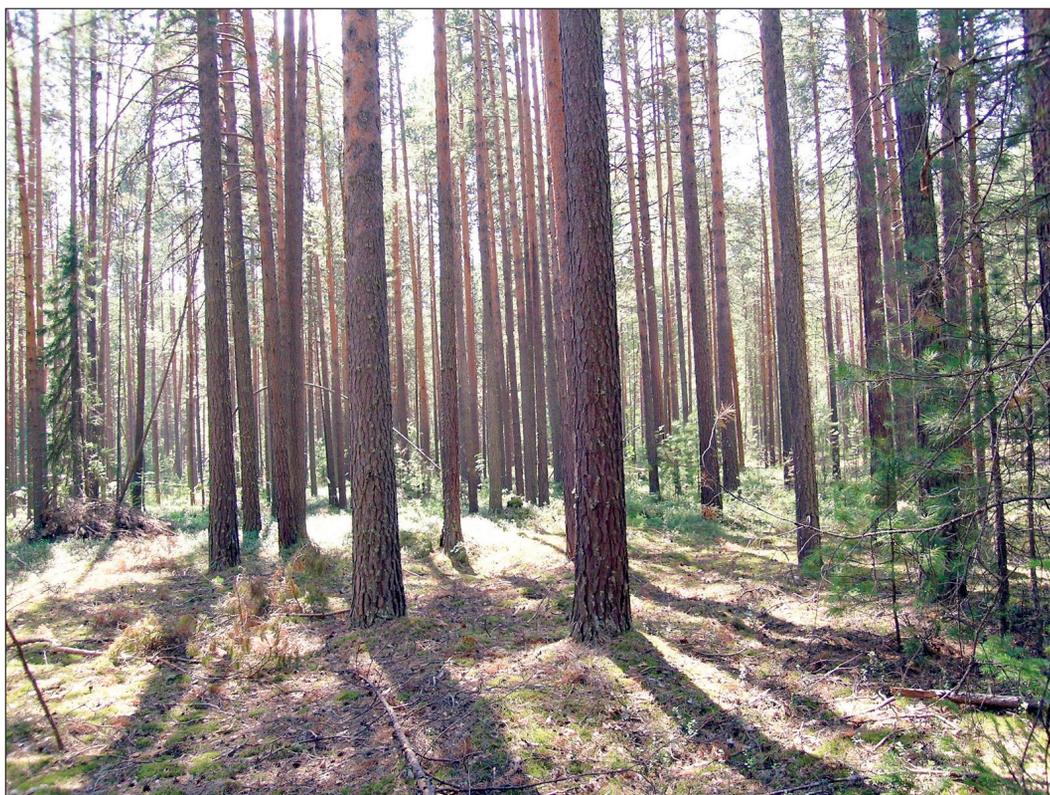
**Экологические ряды местообитаний и типологическая характеристика сосняков.** В северной части междуречья Оби и Томи наиболее распространены следующие типы местопроизрастания сосновых древостоев, представленные в настоящем исследовании.

1. Суходольные экотопы внутриболотного расположения с белопесчаными и супесчаными почвами (рис. 2).

Верхние ступени подобных образований, разбросанных по заболоченным пространствам, представлены почти ровными, столообразными плато, вероятно, возникшими в процессе водной планации и ветровой дефляции минералогической основы грив и бугров, намытых ледниковыми водами. К настоящему времени они приобрели асимметрично вытянутые, извилистые и округлые формы высотой до 1.5–3 м с волнистыми краями и покатыми склонами. Как и плоские вершины, они поросли разновозрастными сосняками зеленомошно-бруснично-черничной, зеленомошно-бруснично-лишайниковой, зелено-



**Рис. 1.** Географическая локализация исследованных сосняков в пределах Тимирязевского (1) и Темерчинского (2) лесоболотных массивов на междуречье Оби и Томи.



**Рис. 2.** Сосняки зеленомошно-бруснично-низкотравные по супесчаным гривам и межгривным западинам северного борта вытянутой депрессии болота Таган ( $56^{\circ}20'55''$  с. ш.  $84^{\circ}44'43''$  в. д.).

мошно-бруснично-вейниковой и зеленомошно-бруснично-кустарниковой серии типов леса.

Из мхов и лишайников наибольшее распространение здесь имеют плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), кукушкин лен обыкновенный (*Polytrichum commune* (Hedw.)), к. л. сжатый (*P. strictum* (Sm.)), к. л. можжевельниковый (*P. juniperinum* (Hedw.)), к. л. стройный (*P. gracile* (Sm.)), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* ((Hedw.) Schimp.)), дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum* Sw.), д. удлиненный (*D. elongatum* Schleich. ex Schwägr.), д. метловидный (*D. scoparium* Hedw.), птилиум гребенчатый (*Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.), кладония альпийская (*Cladonia alpestris* (L.) Rabh.), к. оленья (*C. rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg.), к. лесная (*C. sylvatica* ((L.) Hoffm.)), к. шариконосная (*C. coccifera* (L.) Willd.), к. бахромчатая (*C. fimbriata* Fr.), цетрария исландская (*Cetraria islandica* (L.) Ach.). Основные сообщества травянистых растений слагают вейник незамеченный (*Calamagrostis neglecta* (Ehrh.) Gaertn., V. Mey. & Schreb.), в. пурпурный (*C. purpurea* (Trin.) Trin.), в. наземный (*C. epigeios* (L.) Roth.), осока большехвостая (*Carex macroura* (Meinsh.)), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), хвощ зи-

мующий (*Equisetum hyemale* L.), х. камышовый (*E. scirpoides* Michx.), а также вечнозеленые листопадные и стелющиеся кустарнички – брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.), линнея северная (*Linnaea borealis* L.), водяника черная (*Empetrum nigrum* L.), вербейник европейский (*Trientalis europaea* L.), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt.). Мозаичный ярус настоящих кустарников образуют карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), береза низкая (*Betula humilis* Schrank.), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.), шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), кизильник черноплодный (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex A. Blytt), малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), смородина черная (*Ribes nigrum* L.), с. кислая (*R. acidum* Turcz. ex Pojark.), волчегородник обыкновенный (*Daphne mezereum* L.).

2. Болотные экотопы с олиготрофным типом водно-минерального питания (рис. 3).

Основу доминирующего фона напочвенного растительного покрова здесь образуют разноцветные ковры сфагновых мхов – сфагнума бурого (*Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr.),



Рис. 3. Сосняки сфагново-кустарничково-осоковые с густым бугорковым микрорельефом на олиготрофном болоте Газопроводное (56°23'20" с. ш. 84°38'02" в. д.).

сф. красноватого (*Sph. rubellum* Wilson), сф. магелланского (*Sph. magellanicum* Brid.), сф. центрального (*Sph. centrale* C. E. O. Jensen), сф. Вульфа (*Sph. wulfianum* Girg.), сф. Йенсена (*Sph. jensenii* H. Lindb.), сф. тупого (*Sph. obtusum* Warnst.), *Sph. dusenii* Russ. et Warnst., сф. узколистного (*Sph. angustifolium* (Warnst.) C. E. O. Jensen), сф. дубравного (*Sph. nemoreum* Scop.), ряда гипновых мхов – аулакомниума болотного (*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr.), гелодиума Бландова (*Helodium blandowii* (F. Weber & D. Mohr) Warnst.), томентгипнума блестящего (*Tomenthypnum nitens* (Hedw.) Loeske), каллиергона соломенно-желтого (*Calliergon stramineum* (Brid.) Kindb.), дрепанокладуса плавающего (*Drepanocladus fluitans* (Hedw.) Warnst.), д. крючковатого (*D. uncinatus* (Hedw.) Warnst.), *D. exannulatus* (Br., Sch. et Gmb.) Warnst., палюделлы оттопыренной (*Paludella squarrosa* (Hedw.) Brid.) и плотных зеленых латок фунарии гигрометрической (*Funaria hygrometrica* Hedw.) на сфагновых подушках в сосновых куртинах. В густом очесе этих ковров присутствуют также синузии кустистых и листоватых лишайников, прежде всего кладонии лесной и к. удлиненной (*C. elongate* (Jacq.) Hoffm.), цетрарии исландской, пельтигеры собачьей (*Peltigera canina* (L.) Willd.), п. пупырчатой (*P. aphthosa* (L.) Willd.), п. рыжеватой (*P. rufescens* (Weis.) Humb.). Экранирующий ярус принадлежит болотным кустарникам, кустарничкам и полукустарничкам – багульника болотному (*Ledum palustre* L.), хамедафне обыкновенной (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench.), подбелу обыкновенному (*Andromeda polifolia* L.), голубике (*Vaccinium uliginosum* L.), бруснике, чернике обыкновенной, зимолюбке зонтичной (*Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton.), грушанке круглолистной (*Pyrola rotundifolia* L.), г. средней (*P. media* Sw.), г. малой (*P. minor* L.), ортилии однобокой (*Orthilia secunda* (L.) House), березе круглолистной (*Betula rotundifolia* Regel & Tiling), б. низкой, из трав – морошке приземистой (*Rubus chamaemoru* L.), хвощу камышовому (*Equisetum scirpoides* Michx.), осоке плетевидной (*Carex chordorrhiza* Ehrh.), о. топяной (*C. limosa* L.), о. носиковой (*C. rostrate* Stokes), о. малоцветковой (*C. pauciflora* Lightf.).

Разрывы между сосновыми куртинами и группами сближенных деревьев занимают осоково-сфагнуво-морошковые луговины с пятнами пушицы узколистной (*Eriophorum polystachyon* L.), п. влагалищной (*E. vaginatum* L.), п. стройной (*E. gracile* Roth.), п. рыжеватой

(*E. russeolum* Fries.), росянки круглолистной (*Drosera rotundifolia* L.), р. английской (*D. anglica* Huds.), клоковки обыкновенной (*Oxycoccus palustris* Pers.), к. мелкоплодной (*O. microcarpus* (Turcz. ex Rupr.) Schmalh.), шейхцерии болотной (*Scheuchzeria palustris* L.) и очеретника белого (*Rhynchospora alba* (L.) Vahl.). В озерах и мочажинах к краям сплавины со сфагнуво-осоково-росянковым, сфагнуво-осоково-белозоровым и сфагнуво-осоково-пушицево-белокрыльником составам и присутствуют переплетенные скопления пузырчатки обыкновенной (*Utricularia vulgaris* L.) и п. средней (*U. intermedia* Hayne.), роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.), видов рдеста (*Potamogeton* L.) – р. курчавого (*Potamogeton crispus* L.), р. длиннейшего (*P. proelongus* Wulf.), р. плавающего (*P. natans* L.), р. блестящего (*P. lucens* L.). Изредка в рямовых озерах отмечаются редкие для озерно-торфяных комплексов атмосферного типа водно-минерального питания кувшинка четырехгранная (*Nymphaea tetragona* Georgi) и кубышка малая (*Nuphar pumila* (Timm) DC.).

3. Болотные экотопы с эутрофным типом водно-минерального питания (рис. 4).

Растительный покров здесь слагают, как правило, фрагменты осоково-вейниково-сабельниковой, вахтово-белозорово-мшистой, кочкарной осоково-сфагнуво-гипновой и осоково-сабельниково-хвощевой ассоциаций. Среди мхов часто отмечаются сообщества типичных гигроазумезофитных видов: сфагнума оттопыренного (*Sphagnum squarrosum* Pers.), сф. Вульфа, сф. Гиргензона (*Sph. girgensohnii* Russ.), сф. Варнсторфа (*Sph. warnstorffianum* Du Rietz), сф. берегового (*Sph. riparium* Angstr.), каллиергона гигантского (*Calliergon giganteum* (Schimp.) Kindb.), мезии трехгранной (*Meesia triquetra* (Hook. et Tayl.) Angstr.), мниума цинклидевидного (*Mnium cinclidoides* (Blytt) Hub.), м. близкого (*M. affine* Bland. emend. Tuomik.), томентгипнума блестящего, аулакомниума болотного, гелодиума Бландова и некоторых других видов. Верхний ярус трав образуют вейник незамеченный (*Calamagrostis neglecta* (Ehrh.) G. Gaertn.), в. пурпурный, трищетиный сибирский (*Trisetum sibiricum* Rupr.), луговик дернистый (*Deschampsia caespitosa* (L.) P. Beauv.), мятлик болотный (*Poa palustris* L.), перловник поникший (*Melica nutans* L.), камыш лесной (*Scirpus silvaticus* L.), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), синюха голубая (*Polemonium coeruleum* L.), вероника длин-



Рис. 4. Сосняки крапивно-вейниковые на осушенной в 1971 г. части эвтрофного болота Клюквенное (56°23'33" с. ш. 84°39'19" в. д.).

нолистная (*Veronica longifolia* L.), вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris* L.), кипрей болотный (*Epilobium palustre* L.), вех ядовитый (*Cicuta virosa* L.), подмаренник северный (*Galium boreale* L.), п. цепкий (*G. Aparine* L.), вербейник кистецветный (*Naumburgia thyrsoiflora* L.), василистник простой (*Thalictrum simplex* L.), болотница болотная (*Eleocharis palustris* (L.) Roem. et Schult.), осока сближенная (*Carex appropinquata* Schumach.), о. двутычинковая (*C. diandra* Schrank), о. дернистая (*C. Cespitosa* L.), о. волосистоплодная (*C. lasiocarpa* Ehrh.), о. топяная, о. носиковая (*C. rostrata* Stokes), кипрей узколистный (*Epilobium angustifolium* L.), к. горный (*Epilobium montanum* L. syn. *E. sylvaticum* Boreau), к. болотный.

На участках, примыкающих к внутриболотным озерам и водотокам, распространены трясина-зыбкие, слабо связные, рыхло-неустойчивые гипново-осоково-мытничково-росянковые и осоково-вахтово-белокрыльничковые сплавины с окружной канвой плотных зарослей тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), осоки острой (*Carex acuta* L.), о. топяной, о. магелланской (*C. magellanica* Lam.), о. вздутоносой (*C. rhynchophysa* C. A. Mey.), мытника топяного (*Pedicularis uliginosa* Bunge), камыша озерного (*Scirpus lacustris* L.), рогоза

широколистного (*Typha latifolia* L.), вахты трехлистной (*Menyanthes trifoliata* L.), хвоща приречного (*Equisetum fluviatile* L.), канареечника тростниковидного (*Phalaroides arundinacea* L.), ежеголовника прямого (*Sparganium erectum* L.), е. всплывающего (*S. emersum* Rehmman), рдеста гребенчатого (*Potamogeton pectinatus* (L.), р. плавающего, указывающих на постоянство озерного влагооборота.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В контексте функциональной оценки биоразнообразия лесоболотных комплексов Сибири целесообразно применение новых методов распознавания их отклика на преобразующие воздействия факторов внешней среды. Интегральным показателем такой реакции у древесных растений служит изменчивость ширины годовичных колец древесины. По сути, неодинаковость радиального прироста у отдельных деревьев в насаждении отражает «фитосоциальную» природу леса, проявляющуюся через показатели возраста, густоты и конкуренции. Особый интерес представляют гидроморфные местопрорастания с более сложной по сравнению с суходолами «линейкой» факторов, определяющих динамику радиального прироста древесины,

поскольку имеет место «суммирование» на протяжении онтогенеза деревьев не только современных, но и бывших рядов избыточного увлажнения горизонтов почвенного обитания корней. Тематика исследования исторически созвучна с традиционными отечественными подходами к оценке биологической и технической спелости древесины, выявлению редких экотипов и наиболее ценных сортиментов в болотных лесах. Очевидно, что реализация столь не тривиальных задач предполагает наличие экологически уникальных и максимально поливариантных объектов исследования. Именно такими характеристиками обладают сосновые леса лесоболотных комплексов северной части междуречья Оби и Томи. Широкое распространение в этом районе избыточно влажных и суходольных сосняков климаксовых и сукцессионных стадий развития с различной ландшафтной приуроченностью и фитоценотической структурой обеспечивает репрезентативность и экстраполяционный потенциал результатов исследования, сущностное изложение которых представлено во второй части настоящей статьи: «Сообщение II. Экспериментально-аналитические аспекты исследования».

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН (FWES-2024-0028 «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты»).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ваганов Е. А., Качаев А. В. Дендроклиматический анализ роста сосны в лесоболотных фитоценозах Томской области // Лесоведение. 1992. № 6. С. 3–10.
- Демаков Ю. П. Отклик деревьев в сосняках сфагновых Марийского Полесья на извержения вулканов // Болота Северной Евразии: биосферные функции, разнообразие и управление: Тез. докл. Междунар. симп. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. С. 27–28.
- Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Пименов А. В., Седельникова Т. С. Фитоценотическая и таксационная индикация болотных сосняков междуречья Оби и Томи // Сиб. лесн. журн. 2022. № 5. С. 3–21.
- Кнорре А. А. Интеграционные подходы и методы дендрохронологии в изучении динамических процессов наземных экосистем разного типа: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 1.5.15. Красноярск: СФУ, 2023. 45 с.
- Крылов П. Н. Очерк растительности Томской губернии // Научные очерки растительности Томского края: Сб. публ. лекций, организованных Западно-Сибирским сельскохозяйственным об-вом. Томск. 1898. С. 1–26.
- Линник Ю. В. Русская фитоценология // Эко-Потенциал. 2013. № 3–4. С. 54–94.
- Маслаков Е. Л., Кузнецов А. Н. Об особенностях динамики социальной структуры древостоев ели планетационного типа в возрасте 25–30 лет // Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур: Сб. науч. тр. СПб: ЛенНИИЛХ, 1992. С. 41–61.
- Маслаков Е. Л., Кузнецов А. Н., Шестакова Т. А. О генезисе и динамике социальной структуры древостоя (на примере культур ели) // ИВУЗ. Лесн. журн. 1999. № 4. С. 7–17.
- Морозов Г. Ф. Дарвинизм в лесоводстве // Лесн. журн. 1913. С. 1–12.
- Морозов Г. Ф. Лес как растительное сообщество. 2-е изд. М.: Гос. изд-во, 1922. 44 с.
- Морозов Г. Ф. Учение о лесе. М.; Л.: Сельхозгиз, 1931. 438 с.
- Пачоский И. К. Стадии развития флоры // Вестн. естествозн. 1891. Т. 2. № 8. С. 261–270.
- Пименов А. В., Ефремов С. П. Динамика развития сосны обыкновенной в гнездовых посевах // Лесоведение. 2009. № 2. С. 10–20.
- Семечкин И. В. Социум леса. Саарбрюкен: Lambert Acad. Publ., 2020. 294 с.
- Сукачев В. Н. Страница для будущей истории фитоценологии // Лесн. журн. 1915а. Вып. 1–2. С. 261–264.
- Сукачев В. Н. Введение в учение о растительных сообществах. Пг.; М.: Изд-во А. С. Панафизинной, 1915б. 127 с.
- Сукачев В. Н. Растительные сообщества (введение в фитоценологию). 4-е изд., доп. изд. М.; Л.: Книга, 1928. 232 с.
- Суховольский В. Г. Экономика живого. Оптимизационный подход к описанию процессов в экологических сообществах и системах. Новосибирск: Наука, 2004. 140 с.
- Тишин Д. В., Чижикова Н. А., Чугунов П. Г. Радиальный прирост сосны (*Pinus sylvestris* L.) верховых болот как индикатор локальных изменений климата // Лесн. вестн. 2014. Т. 18. № 5 (105). С. 177–183.
- Третьяков Н. В. Закон единства строения насаждений. М.; Л.: Нов. деревня, 1927. 113 с.
- Шмерлина И. А. Казус русской фитоценологии // Социол. иссл. 2019. № 10. С. 157–166.
- Foster J. R., Finley A. O., D'Amato A. W., Bradford J. B., Banerjee S. Predicting tree biomass growth in the temperate-boreal ecotone: Is tree size, age, competition, or climate response most important? // Global Change Biol. 2016. V. 22. N. 6. P. 2138–2151.
- Nehrbass-Ahles Ch., Babst F., Klesse S., Nötzli M., Bouriaud O., Neukom R., Dobbertin M., Frank D. The influence of sampling design on tree-ring-based quantification of forest growth // Global Change Biol. 2014. V. 20. N. 9. P. 2867–2885.
- Sun S., Zhang J., Zhou J., Guan C., Lei S., Meng P., Yin C. Long-term effects of climate and competition on radial growth, recovery, and resistance in Mongolian pines // Front Plant Sci. 2021. V. 12. Article 729935.
- Van Mantgem P. J., Milano E. R., Dudley J., Nesmith J. C. B., Vandergast A. G., Zald H. S. J. Growth, drought response, and climate-associated genomic structure in white bark pine in the Sierra Nevada of California // Ecol. Evol. 2023. V. 13. Iss. 5. Article e10072.
- Xu K., Wang X., Liang P., Wu Y., An H., Sun H., Wu P., Wu X., Li Q., Guo X., Wen X., Han W., Liu Ch., Fan D. A new tree-ring sampling method to estimate forest productivity and its temporal variation accurately in natural forests // For. Ecol. Manag. 2019. V. 433. P. 217–227.

## STRUCTURE OF THE ANNUAL RING POOL IN COMMUNITIES OF SWAMP AND DRY PINE FORESTS BETWEEN OB' AND TOM' RIVERS

### COMMUNICATION I. METHODOLOGICAL SUBSTANTIATION AND FOREST GROWING CONDITIONS

S. P. Efremov, T. T. Efremova, A. V. Pimenov, T. S. Sedel'nikova

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

---

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru, efr2@ksc.krasn.ru, pimenov@ksc.krasn.ru, tss@ksc.krasn.ru

The expediency of developing new methods for assessing the response of woody plants to environmental factors with an emphasis on the variability of the structure of the annual ring pool of wood is substantiated. Diagnostics and interpretation of the distributed pool of rings are considered in the context of forest society in connection with different intervals of their variability in signs of annual increments. The need for special attention to hydromorphic habitats, which differ in comparison with drylands by a more complex set of environmental factors determining the growth and development of trees in swamps of various types of water and mineral nutrition, is updated. Traditional domestic approaches to assessing the biological and technical maturity of wood, historically consonant with this study, are discussed, allowing the identification of rare and most valuable assortments in swamp forests. In the context of the implementation of the set tasks, the expediency of studying the pine forests of the forest-swamp complexes of the northern part of the Ob and Tom interfluvium, which differ significantly in origin and localization in the relief, age structure, conditions of water-mineral nutrition, typological specificity and productivity of ground vegetation, is substantiated. Bioecological features of this region are characterized, where homogeneous in composition monospecific stands of excessively wet and dry pine forests represented by Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) were found and studied by targeted search. The main emphasis is placed on the ecological series of habitats and the typological characteristics of pine forests. The information presented in this report precedes the essential presentation of the research results in the second part of this article: «Communication II. Experimental and analytical aspects», reflecting their representativeness and extrapolation potential.

**Keywords:** bogs, dry lands, Scotch pine, ecotopes, radial growth.

**How to cite:** Efremov S. P., Efremova T. T., Pimenov A. V., Sedel'nikova T. S. Structure of the annual ring pool in communities of swamp and dry pine forests between Ob' and Tom' rivers: Communication I. Methodological substantiation and forest growing conditions // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 3–12 (in Russian with English abstract and references).

УДК 574.47+582.475.4

**СТРУКТУРА ПУЛА ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ В СОЦИУМАХ БОЛОТНЫХ И СУХОДОЛЬНЫХ СОСНЯКОВ МЕЖДУРЕЧЬЯ ОБИ И ТОМИ****СООБЩЕНИЕ II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ****С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова***Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru, efr2@ksc.krasn.ru, pimenov@ksc.krasn.ru, tss@ksc.krasn.ru

*Поступила в редакцию 19.07.2024 г.*

На примере избыточно влажных и суходольных сосняков, представленных сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на северном пределе междуручья Оби и Томи, обосновано опытное применение новой оригинальной методики распознавания и оценки хронологической мозаики рядов ширины годовых колец в виде индивидуальных чередований и группово-слитных (векторных) совокупностей. Базовый объем обсуждаемого материала образуют 13 пробных площадей с выборкой 1493 деревьев в возрастном диапазоне 22–367 лет. Они содержат 244 702 годовых кольца, общая ширина которых в погонном линейном выражении составляет 151 788 мм. Их индикационный потенциал описан суммарными и неравно распределенными массивами годовых колец в больших и малых выборках деревьев – от 11 до 280 шт. Диагностика и интерпретация распределенного пула колец рассматриваются в контексте социума леса в связи с различными интервалами их изменчивости по знакам годовых приростов. Необходимое разграничение выполнено по разнице между шириной каждого предыдущего и последующего кольца. Показано, что методика скользяще-пошагового сопоставления колец-погодок не только надежно фиксирует, но и взаимно разделяет варианты совстречаемости лет с увеличением, снижением и дублированием трендов годовых приростов в рядах ширины колец. Введены понятия условно стартовых и рядовых колец, из которых вторые численно и по суммарной ширине намного превышают первые. Аргументируется целесообразность их вовлечения в расчеты общих и разделенных по экотопам пробных площадей линеек возрастных различий. В сравнительном ключе впервые оцениваются сепарированные признаки особо информативных массивов годовых колец болотных сосняков послепожарного генезиса. Показано, что в случаях стихийных и антропогенных элиминаций древостоев вид способен не только на прежних, но и на производных экотопах формировать возрастные генерации и типы коренных материнских сосняков.

**Ключевые слова:** болота, суходолы, сосна обыкновенная, экотопы, выборки деревьев, возрастная структура, массивы годовых колец, знаки прироста, критерии распределения.

DOI: 10.15372/SJFS20240502

**ВВЕДЕНИЕ**

Характеристика биоэкологических и фитоценологических особенностей района исследований приведена в первой части настоящей статьи «Сообщение I: Методологическое обоснование и лесорастительные условия». Во второй ее части конкретизируется информация по используемому в работе 13 пробным площадям, для которых в ходе направленного поиска найдены однородные составы таксированных древостоев 10 С (сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)).

По их возрастным грациям в соответствии со шкалами и описательными придержками Н. Ф. Петрова (1970), И. В. Семечкина (1970), С. Э. Вомперского с соавт. (1982), В. Н. Седыха (2009, 2014), В. С. Вернодубенко (2011) и других исследователей структура данных древостоев разделяется, исходя из набора соответствующих критериев, на условно, значительно, исключительно и ступенчато разновозрастные стадии развития. Число модельных деревьев, у которых из базальной части стволов были взяты керны, варьировало в достаточно широком диапазоне –

от 11 до 280. Это значит, что по пробным площадям из произвольно-случайной выборки каждого 14-го (15-го) дерева 2 (3) – здоровые. По известным внешним признакам отбраковывались лишь деревья сухостойные, суховершинные, свилеватые, со сломанами, гнилью, наростами и другими пороками развития. Большой объем натуральных подсчетов и измерений предопределил параллельный перевод в относительные показатели, более удобные для сравнительных сопоставлений.

Цель настоящих исследований – дальнейшее развитие учения о лесе как фитосоциальном сообществе, используя структуру и закономерности развития годичных колец болотных древостоев различных условий произрастания. В этой связи ставились следующие задачи:

- необходимость натурного изучения и оценки разнообразия пула годичных колец по типам условий их формирования;

- поиск, апробация и применение новых методов выделения, группирования и типизации годичных колец деревьев по признакам накопления численных и линейных эффектов увеличения, уменьшения и дублирования их ширины;

- аппроксимация числовых скоплений колец в системе различных протяженностей как ежегодно меняющихся, так и однонаправленных трендов прироста;

- оценка влияния возраста деревьев и факторов внешней среды на спектры естественного разнообразия пула годичных колец в зависимости от положения древостоев в элементах рельефа и типов их водно-минерального питания.

Методологию и результаты многолетних исследований можно применять не только к болотным и суходольным соснякам междуречья Оби и Томи, но и сопредельным территориям Сибири на правах целевого опыта.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Массовые измерения ширины годичных колец выполнены в камеральных условиях на древесных ядрах, закрепленных и отшлифованных на желобковых держателях (носителях). Ядра отбирали осенью комплектом буравов (15) длиной от 10 до 80 см с южной стороны базального основания стволов в 35–40 см от поверхности почвы. Это означает, что их фиксированный возраст по извлеченным ядрам не является истинным, а лишь приближен к нему. В зависимости от габитусов деревьев и плотности торфяных субстратов «поправка» возраста на общую высоту массивных комлей, слагаемых надземными

и погруженными в торф до 30–45 см частями стволов, увеличивает его как минимум на пару классов. Во избежание неточностей и ошибочных искажений за реальный возраст учтенных и таксированных деревьев нами принята хронологическая последовательность размещения числа годичных колец на древесных ядрах указанной высоты отбора.

Для объема всей радиальной выборки заданная точность измерений их ширины на стереоскопическом бинокулярном микроскопе, начиная с первого (стартового) кольца, неизменно составляла 0.01 мм. Она считается вполне достаточной для применения в морфометрии колец лесообразующих и вообще древесных видов растений, в том числе из экотопов избыточно влажных условий произрастания (Комин, 1970; Полубояринов, 1971, 1974; Битвинскас, 1974; Глебов, Литвиненко, 1976; Черкашин, Кузьмичев, 1977; Глебов и др., 1978; Ваганов, Качаев, 1992; Ваганов, Шашкин, 2000; Андреева и др., 2002; Кирдянов, 2017; Кнорре, 2023; и др.).

Кольцо старта отождествляется нами с понятием базы вектора, которая задается адресом его первого элемента. Современное понимание и использование значения термина вектор (лат. *vector*) имеет несколько логически взаимосвязанных толкований (Дворецкий, 1976, с. 1059; Большая энциклопедия, 2006, с. 356): 1) отрезок прямой, имеющий собственное положение и направление; 2) величина, изображаемая вектором, для оценки которой, кроме ее численного значения, необходимо знать и направление ее действия; 3) упорядоченное объединение конечного числа однотипных элементов данных. Применение перечисленных признаков к пулу годичных колец болотных и суходольных сосняков и иных формаций лесообразующих видов расширяет возможности графического анализа и статистической оценки экологически обусловленного структурного разнообразия пула годичных колец древостоев климаксовой и промежуточных стадий развития.

Методика камерального выявления векторной и неравномерно разной структуры пула годичных колец сосняков включала выполнение ряда взаимосвязанных этапов. На первом из них на тщательно шлифованной поверхности ядра каждого из 1493 деревьев выборки в хронологической последовательности его радиального роста измерялась и записывалась в рабочем журнале ширина стартовых и рядовых годичных колец. Затем эти данные в аналогичной последовательности переносились в специальные таблицы. На

втором этапе в пределах линейной протяженности керна от его начального кольца до конечного ширина каждого последующего соотносилась с шириной предыдущего. Следовательно, ширина первого годовичного кольца, будучи стартовой в хронологической линейке обычных, рядовых колец дерева, определяла начальный «момент» не только их численного учета, но и накопления знаков прироста в изменчивом ходе ширины колец-погодок по всей длине каждого керна. В этом состояло временное ранжирование полей измерений. На третьем этапе цифровую разницу между шириной каждого предыдущего и последующего кольца помимо числового значения оценивали в рамках триады терминов – больше (увеличение), меньше (снижение), повторы (дублирование) ширины. При этом учитывались последовательные эпизоды повторений, т. е. год за годом дублирования линейной ширины были в одинаковой степени свойственны группе колец как увеличения, так и снижения приростов с явно асинхронной периодичностью между ними и в каждой из них.

В настоящей работе для апробации метода подобные случаи рассмотрены без разделения, суммарно в качестве самостоятельного признака пула колец, несмотря на кажущийся «адресный» ориентир. Такой прием позволил избежать мелких, но затяжных математических расчетов. Однако указанный выше нюанс группы колец-погодок, дублирующих свою ширину с кажущимся «адресным» ориентиром, перспективен для отдельного анализа в будущих исследованиях болотных и иных древостоев.

Четвертый этап включал сведение учетных признаков разного и относительно системного, упорядоченного распределения пула годовичных колец по вариантам знаков прироста в суммарные ряды «захваченных» лет (штук) и в ряды линейных сумм ширины колец, накопленные за эти годы (мм). На пятом этапе на основании полученных данных вычислялся диапазон неодинаковостей ширины годовичных колец в вариантах увеличения, снижения и дублирования прироста. Для сравнения такая же процедура выполнена по сценарию без расклада на обозначенные выше знаки прироста. На шестом, заключительном, этапе в пространстве количественных и качественных различий пула годовичных колец как адресных элементов его структуры, применен метод их разбиения по признаку слитности в группы (или векторы) однонаправленных трендов роста и не менее значимому признаку неравномерного, хаотичного рассева

ширины, означающего крайне изменчивые, условно нестабильные тренды роста.

Большой объем экспериментального материала нуждался в достаточно понятной классификации и обоснованном разбиении в разной степени схожих между собой объектов в группы, более пригодные для дальнейшего разбора и интерпретации. Для этого применялись методы многомерного статистического анализа – кластерный и дискриминантный (Лакин, 1990; Боровиков, 1998; Чекотовский, 2002; Халафян, 2007). С использованием показателей ширины годовичных колец по знакам прироста (повышение, снижение или дублирование последующего относительно предыдущего) были выделены группы (кластеры) болотных сосняков. Для содержательной характеристики этих групп применили процедуры кластерного анализа: агломеративные (древовидная кластеризация) и итеративные (метод  $k$ -средних). Они используют некоторую меру сходства или расстояние между объектами для их разделения по кластерам: чем меньше расстояние между объектами, тем больше сходства между членами соответствующей группы (кластера).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Возрастная структура болотных сосняков в связи с типами условий произрастания.** Пространственная привязка пробных площадей к экотопам и общий расклад возрастной структуры деревьев в линейках классов возраста связаны следующим образом. Наиболее тесным возрастным распределением выделяются древостои на белопесчаных и супесчаных почвах внутриволотных взлобков-останцев Большого торфяного массива, раскинувшегося по берегам и в глубь долины р. Жуковка (пп 12). Сосняки на этой территории, видимо, многократно горели и, возможно, вырубались. Следствием этого являются укороченные профили хорошо отмытых белопесчаных и супесчаных почв, которые слабо расчленены на генетические горизонты; нахождение в сосняках крупного замшелого валежника, старых усыхающих и перестойных семенных экземпляров 380–400-летнего и большего возраста, а также то, что основную площадь на взлобках-останцах занимают густые молодняки, прямоствольные средневозрастные и приспевающие деревья 3–7-х классов возраста. Общая сумма годовичных колец в выборке деревьев здесь составляет 13 080 шт. (табл. 1, 2).

**Таблица 1.** Численность пула годичных колец по знакам радиального прироста в сосняках различных условий произрастания

Номер пп	Индекс экотопа	Выборка деревьев, шт.	Возраст, лет	Сумма годичных колец, шт.			Доля числа колец по знакам прироста, %			
				кольца рядовые	по знакам прироста			увеличение	снижение	дублирование
					увеличение	снижение	дублирование			
1	О	280	66–360	62 782	27 910	28 210	6662	44.5	44.9	10.6
2	О	279	100–318	62 689	24647	24 262	13 780	39.3	38.7	22.0
3	О <sub>п</sub>	75	85–367	12 590	5053	5294	2243	40.1	42.0	17.9
4	О-М	42	56–314	6177	2513	2510	1154	40.7	40.6	18.7
5	О <sub>п</sub>	187	86–309	26 077	10 785	11 456	3836	41.4	43.9	14.7
6	О <sub>п</sub>	96	68–206	9768	4397	4540	831	45.0	46.5	8.5
7	О-М	53	112–275	9897	4248	4185	1464	42.9	42.3	14.8
8	О-М	17	163–305	4057	1595	1599	863	39.3	39.4	21.3
9	О	198	22–160	18 279	6457	6812	5010	35.3	37.3	27.4
10	Э	15	109–300	2284	1006	1054	224	44.1	46.1	9.8
11	Э	120	53–257	13 387	6406	6417	564	47.9	47.9	4.2
12	С	120	60–130	13 080	5835	6823	422	44.6	52.2	3.2
13	Э	11	126–314	2142	895	849	398	41.8	39.6	18.6

*Примечание.* Годы взятия древесных кернов по пп: 1, 2, 4–9 – 1990; 10 – 1991; 12 – 1992; 11 – 1993; 13 – 1998; 3 – 2004. Экотопы: О – олиготрофный; О<sub>п</sub> – олиготрофный, пройденный пожаром; О-М – олиго-мезотрофный; Э – эутрофный; С – суходольный.

**Таблица 2.** Сумма линейной ширины годичных колец по знакам радиального прироста в сосняках различных условий произрастания

Номер пп	Индекс экотопа	Сумма линейной ширины колец, мм					Доля по знакам прироста, %		
		кольца старта	кольца рядовые	по знакам прироста			увеличение	снижение	дублирование
				увеличение	снижение	дублирование			
1	О	316	28 699	15 214	11 812	1673	53.0	41.2	5.8
2	О	183	28 801	14 030	10 596	4175	48.7	36.8	14.5
3	О <sub>п</sub>	61	7655	3683	3058	914	48.1	40.0	11.9
4	О-М	47	3479	1730	1336	413	49.7	38.4	11.9
5	О <sub>п</sub>	426	21 021	10 228	8681	2112	48.7	41.3	10.0
6	О <sub>п</sub>	226	11 040	5804	4621	615	52.6	41.8	5.6
7	О-М	54	6569	3274	2538	757	49.9	38.6	11.5
8	О-М	25	2302	1065	836	401	46.3	36.3	17.4
9	О	100	5934	2686	2044	1204	45.3	34.4	20.3
10	Э	47	2481	1252	1063	166	50.5	42.8	6.7
11	Э	219	13 749	7457	6012	280	54.2	43.7	2.1
12	С	456	16 616	8212	8119	285	49.4	48.9	1.7
13	Э	8	1274	636	457	181	49.9	35.9	14.2

*Примечание.* Условные обозначения см. табл. 1.

Вторыми по признаку компактности возрастной линейки следуют куртины и сближенные группы сомкнутых деревьев средней, низкой и «карликовой» высоты 2–8-го классов. Они заполняют экологическую нишу на глубоких осоково-сфагново-пушицевых и осоково-сфагново-кустарничковых торфах урочища Озерный в районе западных истоков р. Еловка (пп 9).

Здесь господствующее положение принадлежит световым формам болотных экотипов сосны обыкновенной 3–7-го классов возраста (86.3 %), фенотипическое своеобразие которых определяется жестким олиготрофным (атмосферно-застойным) типом водно-минерального питания. Общая сумма годичных колец в выборке деревьев составляет 18 477.

Третьим характерным экотопом является межгривная проточная седловина олиготрофного болота Ручейного, поросшая сосняком 4–11-го классов возраста (пп. 6). В нем на деревья 4–6-го классов приходится до 93.8 % долевого участия, остальные распределены между 8–11-м классами при отсутствии 7-го. Сумма годовичных колец выборки составила 9864 шт. Болотный массив и входящая в него межгривная седловина по структуре микрорельефа и видовому составу растительного покрова соответствуют олиготрофному типу водно-минерального питания. Мощность осоково-сфагново-кустарничковой торфяной залежи варьирует в пределах 3.2–4.4 м. Здесь также обнаружены явные признаки бывшего огневого влияния на состояние почвенного покрова, материнского древостоя и подроста. По разной высоте нагара и остаткам впоследствии отпавших сегментов коры базальной части стволов, а также по очень тонким (1–2 см) прослойкам неравномерно прогоревшего торфа удалось диагностировать схожие следы двух беглых низовых пожаров, произошедших ориентировочно за последние 40–45 и 15–20 лет, скорее всего в теплые сухие осени. Аналогичную возрастную линейку образуют деревья в сосняке на пп 10. Сосняк неравномерной каймой 110–240 м занимает избыточно влажную границу торфяной залежи глубиной 1.5–3.7 м между склонами песчаного суходола и чашей эутрофного Клюквенного болота площадью около 5 тыс. га. В сосняке более 87 % выборки деревьев относится к 6–8-му классам возраста, тогда как меньшая часть – только к 13-му и 15-му классам. Свободные промежутки между ними, скорее всего, указывают на ступенчатый характер возрастной структуры всего древостоя в этой серии типов леса. Здесь в выборке деревьев суммарно заключено 2299 годовичных колец.

Обращают на себя внимание линейки классов возраста древостоев малой полноты (0.23–0.28) на пробных площадях 7 и 8, которые не прерываются пустотами разрывов. Первая из них располагается в сфагново-бруснично-мошкочном сосняке на влажном, местами относительно сухом южном склоне выпуклого олиго-мезотрофного торфяного болота Визирного в районе малых озерковых истоков р. Жуковка. Здесь в выборку до 81 % попали очень красивые тонкокорые стволы желтовато-бежевых и бежево-коричневатых оттенков в диапазоне 8–12-го классов возраста. Их предворяют 6–7-й (7.6 %), а заключают 13–14-й классы (11.4 %). Выборка деревьев суммарно включает 9950 колец. Почти

в таком же состоянии находится выборка в древостое на сфагново-кустарничково-брусничном болоте Рудовый Тесан олиго-мезотрофного типа водно-минерального питания (пп 8). Его редколесья протянулись почти на 20 км от одного из участков заторфованного окружения пяти пресных озер. Керны выборки деревьев пп 8 заключают 4074 годовичных кольца. Они собраны в непрерывную линейку с размахом от 9-го до 16-го класса с центром преобладания 12–14-го классов (64.7 %).

Древостоям других пробных площадей в сравнительном плане присущи более растянутые возрастные линейки и менее очевидные обособления на них доминантных классов возраста. Признаками таких свойств обладают олиго-мезотрофные сосняки Бугристого яма (пп 4), залегающего в широкой заторфованной седловине замкнутого межгривного пространства в верховьях междуречья Еловки и Ташлаира. Элементами болотного макрорельефа служат обособленные сфагново-лишайниково-кустарничковые торфяные бугры в количестве 2–4 экз./га высотой не более 1.4–1.5 м и площадью от 8–10 до 20–25 м<sup>2</sup>. Они имеют конфигурацию асимметричных полигонов и типичных уплощенных куполов со склонами различной крутизны. В торфяных буграх сохраняются участки мерзлоты, в результате чего образуются сезонные термоклины в придонных основаниях. Как правило, на них обособлены деревья-эдафоиндикаторы по 1–2 экз. в окружении густого яруса разновысотного подроста материнской породы. Возрастной предел таких деревьев в выборке составил диапазон от 3-го до 6-го класса. Пространства между буграми заняты чистыми осоково-сфагновыми луговинами, чередующимися с сосняками зеленомошно-сфагново-брусничной, сфагново-бруснично-кустарничковой, сфагново-бруснично-черничной и сфагново-бруснично-лишайниковой серией типов леса. Их возрастная линейка, суммарно содержащая 6219 годовичных колец, простирается от 5-го до 16-го класса при выпадении 12-го и 14-го классов. Более 10 % деревьев составили в выборке доминантные классы возраста (5–8-й) почти 62 %, за которыми следуют старшие классы (9–16-й) в сумме 30.9 %. Промежуточным вариантом является участок олиготрофного Прогонного массива (пп 5), тыловая сторона которого широкой каймой осоково-сфагново-кустарничковых и чернично-сфагново-кустарничковых сосняков примыкает к склону суходольных зеленомошно-лишайниковых древостоев. Фронтальная

сторона Прогонного массива обращена на осково-сфагново-пушицевые луга, опоясывающие береговые сплавины нескольких крупных мочажин и четырех сообщающихся внутриболотных озер. В тыловом секторе болота выборка древесных кернов в сосняке показала непрерывный возрастной ряд от 5-го до 16-го класса, суммарно включивший 26 264 годичных кольца. Примечательным оказалось то, что в этой возрастной линейке около 90 % деревьев относятся к диапазону 6–8-го классов. Явно не случайный факт обратил на себя внимание. Как и предполагалось, при бурении залежи под верхним слоем плотного, хорошо слежавшегося торфа мощностью 62 см сфагново-лишайниково-кустарничкового ботанического состава обнаружен 14-сантиметровый горизонт бесструктурной, липкоклящей темно-серой массы с густым содержанием черной присыпки мельчайших углей. По этим и ряду других признаков можно было заключить, что данный участок Прогонного болота не менее 180–190 лет тому назад был охвачен пожаром, перекинувшимся с суходола. Помимо выгорания живых деревьев, подроста и самосева сосны, он сопровождался образованием очагов беспламенного тления древесины валежника, старого сухостоя, прогоранием и термическим разложением (пирометаморфозом) органической структуры горячего торфа до границы капиллярной каймы или, возможно, до уровня почвенной верховодки. Участок сгоревшего, а затем восстановившегося леса ко времени исследования визуально почти ничем не отличался от соседних, не затронутых пожаром выделов болотных сосняков как по габитусам разновозрастных деревьев, так и по избыточному увлажнению почвы, монотонной структуре микро- и мезорельефа, ярусам подроста и растительного покрова в масштабных границах торфяного массива. Локальный эпизод огневого воздействия на лес приостановил, но не мог навсегда заблокировать восстановление материнского древостоя и торфообразовательного процесса практически до их возврата в исходное состояние. Сделано заключение, что, судя по возрастной структуре обновленного древостоя, группам подроста и самосева, по мощности, ботаническому составу и степени разложения торфа, лежащего поверх погребенного пирогенного пласта, на это ушло не менее двух столетий.

На междуречье Жуковки и Еловки своеобразием возрастного распределения выделяются выборки деревьев в сосняках на пробных площадях выпуклого Киргизно-Губаревско-

го торфяно-болотного массива. В продольном (восток–запад) и поперечном (север–юг) направлениях его прошивают нивелированные топо-экологические профили. Протяженность продольной линии 3184 м, поперечной – 1738 м, а их перекрестие располагается на выпуклом высотном максимуме торфяно-болотного мезорельефа. С учетом этих данных рассчитаны реперные точки пространственного каркаса массива с генетическим центром торфонакопления, слившимися малыми выпуклыми, склоновыми и примыкающими к подножию дочерними участками. Максимальная глубина торфяной залежи этого массива 6.7 м. Современный этап его развития в различных частях связан с олиготрофным, олиго-мезотрофным и мезотрофным типами водно-минерального питания. Продольное направление топо-экологического профиля перпендикулярно пересекает три квартальных просеки времен лесохозяйственного обустройства этой территории в конце XIX и начале XX столетий. Максимальные превышения поверхности выпуклых участков над нулевыми границами торфяных залежей в пределах прогона продольного профиля достигают в восточном направлении 5.7 м, в западном – 3.4 м. У поперечного профиля превышения северного и южного прогонов составляют 2.4 и 3.8 м соответственно. Водной разгрузке северной части поперечника торфяно-болотного массива препятствуют песчаные гривы суходолов.

На западной ветви продольного топоэкологического профиля размещаются болотные сосняки значительной и исключительной разновозрастности, наиболее типичной для олиготрофных и олиго-мезотрофных условий произрастания. Начинаясь на плоской вершине выпуклой части торфяно-болотного массива (пп 3), они тянутся по сфагново-лишайниково-кустарничковому склону с бугорково-мшистым микро и мезорельефом (пп 2). Затем спускаются к поясу избыточно влажного подножия (пп 1), на дальних участках которого ежегодно по весне оттаивают открытые окна стоячей воды, однако ее поверхностный сток закрыт тупиками запрудных суходолов. К началу осени площади открытых окон уменьшаются за счет просачивания влаги в нижележащие пласты торфяной залежи и эвапотранспирации. Этот процесс обычно сигнализирует, что уровни атмосферной верховодки снижаются в 1.5–2 раза на всех олиготрофных, олиго-мезотрофных и мезотрофных экотопах продольного и поперечного профилей Киргизно-Губаревского торфяно-болотного массива.

По участкам его высотных разностей пробные площади западной ветви названы соответственно Вершиной, Склоном, Подножием.

Выборка деревьев на Вершине олиготрофного массива (пп 3) образовала возрастную линейку с 5-го до 19-го класса при выпадении 9-го, 17 и 18-го. За планкой выше 10 % участия более или менее очевидное преобладание имеют 5-й (13.3 %), 6-й (20.0 %), 7-й (12.0 %) и 8-й (24.1 %) классы возраста, образуя в сумме 69.4 %. Сумма оставшихся классов составляет 30.6 %, из них на 13–15-й классы приходится 21.3 % при «лидировании» 13-го (9.3 %). Данный тип разброса и отсутствие в нем особой трех возрастных групп определяют выборку древостоя Вершины понятием не менее как значительной разновозрастности с признаками ступенчатости. Общая сумма годовичных колец в кернах деревьев здесь составляет 12 665 шт. Основная причина преобладания в выборке (почти до 70 %) стволов только четырех возрастных классов (5–8) состоит, как и на участке Прогонного болота (пп 5), в пожаре. Вероятно, он возник на выпуклой, обычно наиболее сухой части торфяного массива, предположительно около 160–170 лет тому назад. Новый слой накопленного и уже плотно слежавшегося сфагново-осоково-кустарничкового торфа составляет 46–48 см. Поверх него располагается густой очес живых мхов и лишайников с пятнами лесной подстилки. Под их пластинами залегает вязкий горизонт влажной тестообразной пепельно-серой массы толщиной 11–12 см. Он включает большое разнообразие форм, рассеянных и собранных в сгустки черных угольков высокой степени дисперсности. В современном профиле торфяной залежи пирогенный горизонт толщиной 11–12 см четко выделяется не только оттенками и структурой сгоревшего растительного материала, повлекшего некоторое улучшение трофического потенциала почвенного покрова. Этот горизонт следует считать маркером хроноиндикации периода естественного восстановления параллельных процессов торфообразования и лесообразования после прогорания/озоления, по меньшей мере, 40–45 см верхнего, совершенно зрелого пласта олиготрофной торфяной залежи. Судя по возрастному набору кернов, от серьезного, но не затяжного напочвенного пожара, деревья толстокорые, кряжистые, крупно-суковатые, с осевшими в торфяную залежь стволами пострадали в меньшей степени, чем молодые поколения. Именно старшая группа деревьев после пожара обеспечивала воспроизводство новых семенных генераций соснового

древостоя на вершине Киргизно-Губаревского торфяно-болотного массива (пп 3).

В древостоях и торфяных слоях Склона и Подножия следы пирогенного воздействия, подобные Вершине и Прогонному болоту, отсутствуют. Возможно, эти обстоятельства как раз и обусловили практически схожее распределение деревьев по классам возраста в выборках на пробных площадях западной ветви продольного профиля. В обоих случаях пик параболы возрастного разброса приходится на 10-й класс возраста, условно почти в равных пропорциях – 17.9 % (Склон), 17.5 % (Подножие). Участие деревьев в выборке по двум следующим классам возраста (11–12) дает небольшое преобладание Подножию (23.9 %) по сравнению со Склоном (22.2 %). Однако суммарная доля деревьев с участием в линейках классов возраста более 10 % в экотопе Склона на 6 % выше, чем в экотопе Подножия, составляя 75.2 и 69.2 % соответственно. Конечно, придавать большое значение этой разнице, видимо, не следует, как ею и пренебрегать. По существу, в равных выборках кернов (табл. 1) деревья на Склоне заключают 62 968 годовичных колец, на Подножие – 63 062 шт. По этому признаку разница незначительная.

Известно, что древесные виды растительных подсистем олиготрофных, олиго-мезотрофных комплексов максимально чувствительны к малейшим перепадам суммарных годовичных и сезонных режимов увлажнения торфяных почв (Згуровская, 1963; Вомперский, 1968; Орлов, Кошельков, 1971; Ефремов, Ефремова, 1973; Храмов, Валуцкий, 1977; Ефремов, 1980; Корнатов, Косых, 2022). Выпуклый профиль анализируемого Киргизно-Губаревского массива определяет как поверхностно-гравитационное стекание атмосферных осадков, так и сквозное промывание торфяной залежи от вершины к его подножию. Запрудное влияние суходолов препятствует их дальнейшему стоку, поэтому здесь в полной мере развивается атмосферно-застойное избыточное увлажнение, но с некоторой долей условной эутрофизации верхнего слоя залежи за счет ее естественного промывания, в котором концентрируется вся масса типично поверхностных корневых систем болотных экотипов сосны.

В хронологическом отношении осоково-гиновое болото Большое эутрофного типа водно-минерального питания исследовано на 34–36 км вдоль и 3–6 км в глубь торфяных берегов р. Жуковка, начиная с каймы прирусловой кедрово-еловой согры с примесью в древостое других

хвойных и березы пушистой. Таксационные параметры древостоев и ширина лесной каймы сильно варьируют по мере удаления от уреза воды и приближения к малолесным озерно-мочажинным истокам реки. В целом извилистый, «корытообразный» поперечник торфяного болота Большого от каймы кедрово-еловой согры до границы суходольного обрамления колеблется в пределах 3–6 км. На прилегающих к белопесчаным и супесчаным суходолам участках болота еще встречаются реликты полностью не денудированных взлобков-останцев со схожими с «материком» минералогическими составами и строением профилей почвенных субстратов. Они равномерно поросли сосняками зеленомошно-бруснично-кустарниковой, зеленомошно-бруснично-черничной и зеленомошно-бруснично-лишайниковой серии типов леса (пп 12).

Протяженные границы гривисто-ложбинных суходолов и вогнутого ложа торфяного болота с рекой находятся под влиянием холодных напорных водоносных горизонтов. Они выклиниваются из-под уступов «материка» и коренной террасы реки, теперь скрытой в пластах торфяной залежи, местами мощностью более 11 м, которая подстилается глеевыми песками с тонкими прослойками суглинков. Закономерно, что ландшафтную границу здесь образуют группы смешанных растительных сообществ, предпочитающих проточно-грунтовое увлажнение и торфяные почвы высокой зольности. Они слились в своеобразный «лесоболотный пояс» шириной до 250–280 м, структура которого включает фрагменты избыточно влажных травяно-мшистых березняков, ивняков, еловых кедровников, сосняков и хвойно-березовых древостоев различной густоты, вплоть до редколесий. Именно на окрайках этого болотного сектора обособился травяно-мшисто-кустарниковый сосняк площадью около 290–300 га на осоково-вахтово-гипновой торфяной залежи глубиной 210–225 см (пп 11). Его тыловая сторона упирается в гривы и ложбины суходолов, фронтальная обращена на район примыкания к оз. Камышовое, после которого сосняк «лесного пояса» отдельным участком выходит на Большой торфяно-болотный массив. Площадь озера занимает немногим более 150 га. Его берега не имеют четко выраженных признаков сезонных колебаний уреза воды, глубина которой находится за пределами 14 м. При этом для озера характерна пониженная летняя температура воды (7–9 °С). Таким образом, комплекс признаков позволил заключить, что оз. Камышовое теснейшим образом связано с восходящими подпорами

глубинных водоносных горизонтов суходолов и собственного минерального ложа торфяно-болотного массива.

Вместе с тем, если судить по типичному состоянию данного болотного соснового древостоя, вполне очевидно, что этот фактор не оказывает решающего влияния на выхолаживание микроклимата прилегающих лесопокрытых пространств. Он лишь устойчиво поддерживает гидрологическую подсистему в балансе взаимоотношений леса и болота, который проявился в современном развитии лесообразовательного процесса на фоне активного торфонакопления. Закономерно, что выборка древесных кернов, по существу от каждого третьего произвольно таксируемых деревьев, показала (пп 12), что в сосняках «лесного пояса» эутрофного типа водно-минерального питания они образуют левую асимметрию непрерывного распределения классов возраста в линейке с 3-го до 13-го включительно. Но в ней преобладают деревья приспевающих 4–6-го классов возраста (69.1 %), после которых ни один из последующих не достигает 10%-й планки участия. При этом относительная доля деревьев 7–8-го классов (17.5 %), несмотря на формальную принадлежность к переходному отрезку правого нисходящего плеча кривой, в определенной степени дополняет и усиливает позиции левоасимметричного распределения выборки в линейке классов возраста типичного болотного сосняка эутрофного ряда водно-минерального питания. В древесных кернах этого участка «упаковано» 13 507 годичных колец.

На упомянутом выше Клюквенном торфяном массиве на 2-километровом удалении от суходольного борта и прилегающего к нему пояса фитоценотически разнотипных сосняков (пп 10) обнаружен своеобразный по экологической контрастности выдел однородного древостоя из серии осоково-хвощево-гипновых и осоково-вахтово-гипновых сосновых редколесий (пп 13). Островной выдел локализован на естественном железорудном участке болота. Высота деревьев 6–8 м. Бессучковая часть сильно сбежистых стволов здесь более чем на 2/3 высоты покрывает толстая, сверху сухая, сегментированная на мелкие чешуйки потрескавшаяся корка темно-серого цвета. Кроны деревьев представляют формы широких, вплоть до уплощенных куполов. Длина хвои 3–5 см возрастом до 2–4 лет. Участок леса до 15–16 га сформировался на глубокой торфяной залежи (8.6 м), которая непрерывно увлажняется напорными водами проточно-грунтового типа заболачивания суши.

**Таблица 3.** Средние показатели возраста деревьев и ширины годовичных колец в различных условиях произрастания сосняков

Номер пп	Индекс экотопа	Средний возраст деревьев, лет	Ширина годовичных колец, мм				
			среднее пула колец		по знакам прироста		
			старта	рядовых	увеличение	снижение	дублирование
1	О	224	1.13	0.46	0.54	0.42	0.25
2	О	225	0.66	0.46	0.57	0.44	0.30
3	О <sub>n</sub>	168	0.81	0.61	0.73	0.58	0.41
4	О-М	157	1.12	0.56	0.69	0.53	0.36
5	О <sub>n</sub>	139	2.28	0.81	0.95	0.76	0.55
6	О <sub>n</sub>	102	2.35	1.13	1.32	1.02	0.74
7	О-М	187	1.02	0.66	0.77	0.61	0.52
8	О-М	239	1.47	0.57	0.67	0.52	0.46
9	О	92	0.51	0.32	0.42	0.30	0.24
10	Э	152	3.13	1.09	1.24	1.01	0.74
11	Э	112	1.83	1.03	1.16	0.94	0.50
12	С	109	3.80	1.27	1.41	1.19	0.68
13	Э	196	0.73	0.60	0.71	0.54	0.45

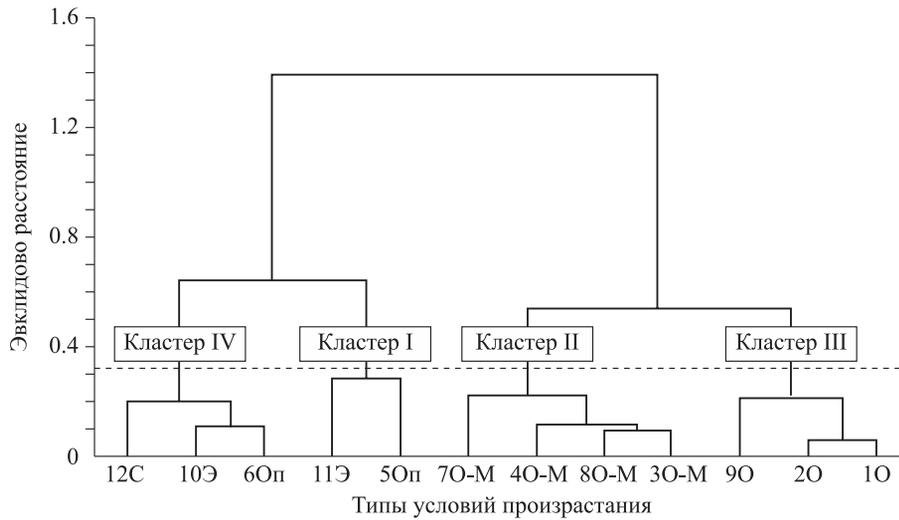
Площадь этого лесного выдела приближена, но полностью не заходит на центр заторфованной вогнутой чаши бывшего озера ледникового периода. Отмечено, что выклинивающиеся глубинные воды обогащены закисными формами железа, вызывающими гипоксию, вымочку и дигрессию корневых систем деревьев. В зоне аэрации поверхностного слоя торфяной залежи (0–40 см) закисные формы железа переходят в труднорастворимые окисные формы, которые выпадают в осадок, образуя 35–40-сантиметровый слой густого рыжевато-бурого лимонита («железняк») – минерала болотной руды. Для корней сосны она практически инертна в плане трофического потенциала «ожелезненного» пласта эуτροφной торфяной залежи. Здесь в выборку захвачены деревья 7–16-го классов возраста со ступенчатым отсутствием 10, 12, 14 и 15-го классов. Вероятно, в прошлом оно было обусловлено ингибирующим влиянием не только «железняк», но и ряда других факторов ослабления корневого питания и, как следствие, снижения семенной продуктивности материнского древостоя. Это отразилось на возрастной структуре «островного» сосняка, поскольку отмечены вполне очевидные временные провалы волн самосева, поколений подроста, молодых и приспевающих особей основного полога. Данные табл. 3 указывают на существенную разницу средней ширины колец в сравниваемых грациях пула на экотопах пп 10 и 13, хотя обе они находятся в пределах границ единого природного массива. Сумма колец выборки 11 деревьев из основного яруса «островного» выдела

болотного сосняка составила 2153 шт. Следует отметить экологически точечную приуроченность выдела «островного» сосняка к выходу глубинных ожелезненных вод, которая в болотном ряду объектов оказалась единственной, поэтому материалы пп 13 в графическую, статистическую обработку и интерпретацию, за исключением описательных разделов статьи, не включались. Но если сравнивать их с данными табл. 3, рис. 1–3, то они вполне сопоставимы с параметрами кластера 2.

Для полной доказуемости необходимо обнаружить и исследовать хотя бы еще один аналогичный «феномен» однородного болотного сосняка на выходе глубинных вод, обогащенных гидроксидами железа.

Таким образом, возрастная специфика выборки анализированных древостоев, которая, как выше показано, в значительной степени обусловлена качеством занимаемых экотопов, неизбежно должна отражаться на структурных особенностях пула годовичных колец, поскольку эти показатели скоррелированы между собой по определению (табл. 1, 2).

**Ширина и структура годовичных колец по знакам радиального прироста.** Количество стартовых колец, задающих начальный «момент» дифференциации и учета рядовых колец по знакам прироста, несмотря на свою различную естественную ширину в возрастном поле кернов, не обладают свойствами «персональных» знаков годовичных приростов. В противном случае функционально они не являлись бы первыми, т.е. стартовыми, поскольку по уче-



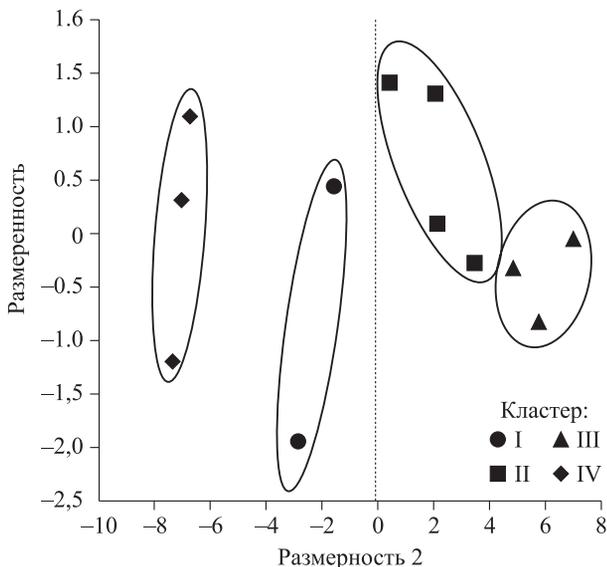
**Рис. 1.** Древовидная кластеризация типов местообитаний болотных сосняков по знакам радиального прироста.

Индексы типов местообитаний см. табл. 1.

ту их не предваряют группы других колец или хотя бы одно кольцо. Логично, что в реальности оно всегда соответствует числу деревьев в конкретных выборках: 280, 279, 75, 42, 187 и т. д. В сумме по выборкам они образуют отдельные количественные и качественные совокупности, которые подлежат учету в соответствующих градациях пула. Простыми расчетами нетрудно убедиться, что относительная изменчивость их численной доли в полном пуле колец по 13 пробным площадям имеет очень малый разбег – 0.4–1.1 % (табл. 1). Изменчивость относительных долей качественно иной измеряемой величины

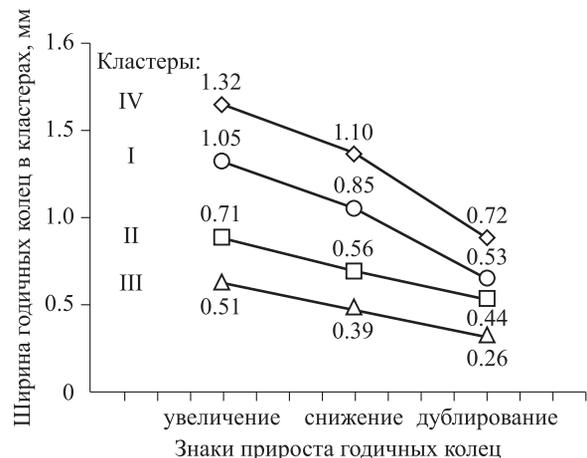
этих же колец, а именно в форме линейных сумм их ширины по пробным площадям, составляет несколько расширенный диапазон – 0.6–2.7 % (табл. 2).

Варианты средней ширины стартовых колец в выборках не выходят за крайние пределы 0.51–3.80 мм (табл. 3). При этом наибольшие показатели характерны для деревьев суходольных и эутрофных условий произрастания, наименьшие – для колец наихудших олиготрофных, а промежуточные свойственны ширине колец на олиго-мезотрофных экотопах и их трансформированных участках пирогенного воздействия. В отношении последнего заметим, что на безлесных, малолесных болотах и в заболоченных лесах пожары с открытым горением и беспла-



**Рис. 2.** Группировка типов местообитаний сосняков в многомерном пространстве признаков – линейной ширины годичных колец по знакам прироста.

Индексы типов местообитаний см. табл. 1.



**Рис. 3.** Ширина годичных колец по знакам радиального прироста в кластерах болотных сосняков.

менным тлением растительного материала, являющегося органической основой торфяных залежей, приводят к золообразованию и минерализации верхних пластов. С мелиоративной точки зрения это способствует повышению трофического потенциала выгоревших территорий, стимулирует процессы их более продуктивного восстановления (Ефремов, Ефремова, 1994; Бамбалов, Ракович, 2007; Сиринов и др., 2011; Зайдельман, 2011, 2013; Zaidel'man, 2011). В нашем случае как раз и рассматриваются адекватные реакции деревьев сосны в форме неоднозначных изменений ширины колец при постепенном облесении и олуговении подобных открытых, а по существу – производных почвенных пространств на горелых торфяных болотах.

Отдельного внимания заслуживают особенности распределения тотально господствующего пула рядовых колец, которые у каждого дерева хронологически следуют за исходным стартовым кольцом. Таблицы 1, 2 показывают, что неравные по пробным площадям выборки деревьев, разное количество в них годовичных колец вследствие специфики возрастной структуры, несхожие ряды суммарной линейной ширины колец по знакам годовичных приростов, контрастность естественных и экзогенно нарушенных условий произрастания насаждений закономерно привели к несоразмерно большим и малым, трудно сравниваемым массивам именованных цифровых данных. Это хорошо заметно по заполненным рядам столбцов и строк каждого сектора знаков прироста. Выход на более простые и удобные для анализа поля найден в универсальном способе преобразования их в стандарт обезличенных относительных показателей. В итоге получены не только схожие в рамках унификации, но и резко уменьшенные цифровые величины, которые в сжатом виде лучше раскрывают общие и частные особенности количественных и качественных признаков структурной организации пула годовичных колец во всей цепочке экосистемного разнообразия исследованных сосняков.

Данные табл. 1, 2 показывают, что в столбцах через относительные доли числа колец сравниваются между собой меры влияния экотопов на древостой пробных площадей. В строках же процесс сравнения по грациям секторов имеет отношение только к относительной доле колец выборки деревьев на экотопе каждой из пробных площадей. Относительные параметры распределенного по знакам прироста числа колец в горизонтальных строках табл. 1 целесообразнее

рассмотреть не на примере каждой площади, а в группах схожих экотопов по лесорастительному потенциалу почв и древостоев с адекватной возрастной структурой. В группе олиготрофных объектов лимиты количества (встречаемость) секторов увеличения прироста составляет 35.3–44.5 %, снижения – 37.3–44.9 %, дублирования – 10.6–27.4 %, их амплитуды образуют ряд 9.2–7.6–16.8 %. В группе олиготрофных объектов, испытавших влияние пожара, встречаемость сектора увеличения прироста ограничена пределами 40.1–45.0 %, снижения – 42.0–46.5 %, дублирования – 8.5–17.9 %, общий размах сложен рядом 4.9–4.5–9.4 %. В группе олиго-мезотрофных объектов количество сектора увеличения прироста составляет 39.3–42.9 %, снижения – 39.4–42.3 %, дублирования – 14.8–21.3 %, их размах представлен рядом 3.6–2.9–6.5 %. В группе древостоев на эутрофных болотах и суходоле с богатым трофическим потенциалом встречаемость сектора увеличения прироста определяется лимитом 41.8–47.9 %, снижения – 39.6–52.2 %, дублирования – 3.2–18.6 %, диапазоны которых образуют ряд амплитуд 6.1–12.6–15.4 %. Финальное (итоговое) объединение относительных долей колец, учтенных без формального разделения по экотопам, в горизонтальных строках табл. 1 составляет лимит 3.2–52.2 % с размахом 49.0 %.

Такая же схема сопоставлений использована для анализа и оценки изменчивости относительной доли линейных сумм ширины годовичных колец, представленной в табл. 2. В древостоях олиготрофной группы доля линейной суммы сектора увеличения прироста колеблется в диапазоне 45.3–53.0 %, снижения – 34.4–41.2 %, дублирования – 5.8–20.3 %, ряд соответствующего размаха составляет 7.7–6.8–14.5 %. В древостоях олиготрофной группы с пожарным воздействием доля линейной суммы сектора увеличения – 48.1–52.6 %, снижения – 40.0–41.8 %, дублирования – 5.6–11.9 %, последовательный ряд амплитуды – 4.5–1.8–6.3 %. В группе олиго-мезотрофного местообитания относительное распределение линейной суммы ширины колец по сектору увеличения определяется лимитами 46.3–49.9 %, снижения – 36.3–38.6 %, дублирования – 11.5–17.4 %, а ряд амплитуды составляет 3.6–2.3–5.9 %. В сборной группе эутрофных болот и суходола по определению с наиболее богатым трофическим фоном относительные величины линейных сумм ширины колец в секторах знаков прироста характеризуются диапазоном: увеличения – 49.4–54.2 %, снижения –

35.9–48.9 %, дублирования – 1.7–14.2 %, а ряд соответствующего размаха – 4.8–13.0–12.5 %.

Отмеченные признаки показывают, что относительная унификация больших массивов учтенных и распределенных по знакам прироста годовых колец (блок количества) и совокупностей сумм линейной ширины этих колец (блок качества) определила возможность с других позиций и в иных масштабах детализировать варианты тренды развития исследуемых древостоев формации сосняков. Укажем на общий предел колебаний относительных параметров пула колец в древостоях всех пробных площадей: по количеству колец диапазон 3.2–52.2 %, амплитуда 49.0 %; по суммарной линейной ширине колец диапазон 1.7–54.1 %, амплитуда 52.4 %.

**Группировка типов местообитаний болотных сосняков по знакам радиального прироста методами многомерной статистики.** В качестве исходных данных служили усредненные для каждой выборки деревьев линейные параметры ширины рядовых колец, дифференцированные по знакам приростов. Унификация как способ приведения показателей к единой норме была достигнута делением линейных сумм ширины колец (табл. 2) на собственные количественные совокупности (табл. 1). Понятно, что все они соответствуют общему и распределенному числу календарных лет, в каждом из которых под влиянием природных факторов внешней среды по ширине колец четко фиксировался годичный прирост, а стало быть, и его знак. На базе полученных цифровых массивов (табл. 3) и описательных характеристик типизированных условий произрастания сосняков способом древовидной кластеризации построили дендрограмму, используя Евклидово расстояние как наиболее общий тип расстояния в многомерном пространстве признаков и метод полной связи, хорошо работающий в случаях, когда объекты реально происходят из различных групп. Организовались четыре кластера, четко соответствующие трофическим потенциалам исследованных местообитаний болотных и суходольных сосняков (рис. 1).

Кластер I объединил проточно-грунтовое, богатое минеральным питанием эвтрофное болото (пп 11) и участок олиготрофного массива, испытавший термическое воздействие пожара по типу тления и минерализации торфяной залежи за счет золообразования при ее беспламенном горении (пп 5). Кластер II сгруппировал преимущественно олиго-мезотрофные болота с достаточно низким лесорастительно-трофическим

**Таблица 4.** Результаты дисперсионного анализа группировки экотопов болотных сосняков по данным линейной ширины годовых колец

Предикторы	Дисперсия		F-критерий	p-уровень значимости
	меж-групповая	внутри-групповая		
Увеличение	1.18	0.057	55.0	0.00001
Снижение	0.90	0.049	49.0	0.00002
Дублирование	0.33	0.021	40.6	0.00003

потенциалом (пп 7, 4, 8, 3). В кластере III обособились наиболее бедные по условиям произрастания сосны олиготрофные ямы (пп 9, 2, 1). Кластер IV связал экотопы наилучших режимов водно-минерального питания древостоев – суходола (пп 12), лесной каймы примыкания эвтрофного болота к суходолу (пп 10) и проточной межгрядной седловины олиготрофного типа (пп 6) с поверхностными дренирующими ручьями и торфяной залежью, обогащенной зольными элементами в результате двух давних беглых пожаров. В качестве одного из способов проверки объективной надежности выполненной группировки сосняков дополнительно использовали метод k-средних кластерного анализа. Принципиальное отличие метода заключается в том, что в нем предварительно задается число кластеров, в нашем случае четыре, согласно данным древовидной кластеризации. Итоги обоих методов объединения идентичны. Результаты дисперсионного анализа показывают, что все переменные, включенные в анализ (случаи увеличения, снижения и дублирования ширины годовых колец), достоверно с высоким уровнем значимости участвуют в разделении (табл. 4).

Евклидово расстояние, характеризующее меру сходства/различия между кластерами, объективно свидетельствует, что наиболее сходны между собой кластеры II и III, группирующие обедненные экотопы (180 условных единиц), а существенно различаются III и IV (678 условных единиц), т. е. крайне бедные и богатые (табл. 5).

**Таблица 5.** Евклидово расстояние между кластерами болотных сосняков по данным линейной ширины годовых колец

Группировка	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4
Кластер 1		0.268	0.440	0.240
Кластер 2	0.268		0.180	0.502
Кластер 3	0.440	0.180		0.678
Кластер 4	0.240	0.502	0.678	

Чтобы адекватно воспроизвести меру сходства или различия местообитания болотных сосняков, с помощью процедуры многомерного шкалирования разместили в пространстве знаков радиального прироста наблюдаемое расстояние между типами на плоскости. На представленной диаграмме четкое разграничение: левую область, не соприкасаясь между собой, занимают богатые экотопы, правую – достаточно сближенные обедненные местообитания (рис. 2).

Эти особенности наглядно представлены в многомерном пространстве признаков на плоскости: левую область графика, не соприкасаясь между собой, занимают богатые экотопы, правую – достаточно сближенные обедненные местообитания (рис. 2). В сгруппированных кластерах сосновых насаждений средняя ширина годовичных колец по знакам радиального прироста представлена на рис. 3. Максимальными показателями увеличения, снижения и дублирования отличаются суходольные сосняки (кластер IV) – 1.32, 1.10 и 0.72 мм соответственно. Достаточно высоким радиальным приростом характеризуются болотные сосняки эвтрофных условий произрастания (кластер I) – сектора повышения радиального прироста – 1.02, понижения – 0.85, дублирования – 0.53 мм. В сосняках мезотрофного ряда развития (кластер II) соответствующие показатели снижены в 1.5 раза, олиготрофного (кластер III) – более чем в 2 раза. Количественные оценки ширины годовичных колец четко отражают контрастность лесорастительного потенциала болотных сосняков различных местообитаний и приводятся впервые.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые для северной части междуречья Оби и Томи как одной из коренных равнинных геосистем южно-таежной подзоны Западной Сибири на примере сосняков гидроморфного и суходольного рядов развития получено развернутое представление о комплексном влиянии трофических факторов в системе экотопов внешней среды на схожести и различия структурной организации пула годовичных колец. По древесным ядрам методом скользяще-пошагового сопоставления колец-погодок, т.е. ширины каждого последующего кольца с шириной каждого предыдущего, оказался объективно приемлемым для надежного разграничения больших и относительно малых массивов колец по знакам их годовичных приростов. Установлено, что структура пула обычно складывается прерывистыми совокупностями колец: а) ежегодно разной

ширины; б) векторов ежегодного увеличения, либо в) уменьшения ширины; г) ежегодного дублирования той или иной ширины. Эти типично дискретные совокупности в хронологической шеренге пула колец имеют разные временные протяженности и повторяемости. Но эти признаки в настоящей работе не входили в задачу подробной интерпретации. В силу приоритетности научной и практической значимости диагностирован индикационный потенциал годовичных колец как структурных элементов пула. На базе выборки деревьев по типам условий обитания, при разных возрастных и линейных размахах лет роста и ширины колец дифференцированы признаки их ответных реакций на динамичные сигналы факторов внешней среды. Стало быть, парадигма «фитосоциальной» природы леса в сочетании с новыми экспериментальными данными ее изучения вполне оправдывает разграничение рядовых колец-погодок на обособленные секторы увеличения, снижения, дублирования приростов при соответствующих раскладах величин именованных признаков – чисел самих колец и сумм их линейной ширины. При этом на финальном этапе расчетов фиксируется естественное, вполне ожидаемое образование больших числовых неравенств. Они определяются объемами конкретных выборок, суммами колец и линейных измерений их ширины по всем входящим в ту или иную выборку деревьям на каждой из опытных пробных площадей.

Приведение натуральных величин к единому стандарту относительных показало, что их долевые значения в контурах количественных и качественных признаков пула колец описывают достаточно контрастные вариации чисел. В контексте «фитосоциальной» природы леса, которому, как и любому другому социуму, присуще свойство конкурентного исключения, это с большей или меньшей вероятностью можно объяснить рядом причин:

- наличием четко фиксируемой, т.е. эволюционно приобретенной способности индивидуальной, но далеко не однозначной для всех деревьев в конкретном насаждении реактивной экспрессии по отношению к сигналам влияния факторов внешней среды. Естественные проявления кумулятивных откликов, как показано, четко фиксируются числом и мерой при анализе структурной организации пула годовичных колец сосняков;

- пределами возрастного разнообразия древостоев;

- контрастным влиянием эдафотопов на их репродуктивную и ростовую активность;

– возможной физиологической «усталостью» камбиальных меристем стволов, корней и хвои к эффективному формированию колец, особенно преждевременно стареющих древостоев на типах болот с низким трофическим потенциалом, и т. п.

Неоднозначные воздействия условий произрастания на структурные параметры пула годовичных колец сосняков подтвердились результатами кластерного анализа и статистической обработки материалов многолетних исследований. Оригинальные методические разработки, реализованные в ходе детального разбора пула годовичных колец болотных древостоев в сравнении с суходольным вариантом, могут быть применимы также к древостоям с иными составами пород, их возрастными рядами, стадиями развития и условиями водно-минерального питания.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН (FWES-2024-0028 «Биоразнообразии лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты»).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева Е. Н., Баккал И. Ю., Горшков В. В., Лянгузова И. В., Мазная Е. А., Нешиатаев В. Ю., Нешиатаева В. Ю., Ставрова Н. И., Ярмишко В. Т., Ярмишко М. А. Методы изучения лесных сообществ. СПб: Изд-во СПбГУ, 2002. 240 с.
- Бамбалов Н. Н., Ракович В. А. Геоэкологическое обоснование восстановления природных и хозяйственных функций нарушенных болот // Геоэкол. Инж. геол. Гидрол. Геокриол. 2007. № 1. С. 28–38.
- Битвинкас Т. Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 172 с.
- Большая энциклопедия: В 62 т. М.: Изд-во ТЕРРА, 2006. Т. 8. 592 с.
- Боровиков В. П. Популярное введение в программу STATISTICA. М.: Компьютер Пресс, 1998. 267 с.
- Ваганов Е. А., Качаев А. В. Дендроклиматический анализ роста сосны в лесоболотных фитоценозах Томской области // Лесоведение. 1992. № 6. С. 3–10.
- Ваганов Е. А., Шашкин В. А. Рост и структура годовичных колец хвойных. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2000. 232 с.
- Вернодубенко В. С. Динамика хвойных древостоев на торфяных почвах Европейского Севера: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Архангельск: САФУ, 2011. 20 с.
- Вомперский С. Э. Биологические основы эффективности лесосошения. М.: Наука, 1968. 312 с.
- Вомперский С. Э., Лебков В. Ф., Иванов А. И. Таксационное строение болотных сосняков // Биогеоэкологическое изучение болотных лесов в связи с опытной гидроме-лиорацией: Сб. науч. тр. М.: Наука, 1982. С. 57–94.
- Дворецкий И. Х. Латинско-русский словарь. М.: Рус. язык, 1976. 1096 с.
- Ефремов С. П. Экологическая обусловленность морфогенеза сосны обыкновенной на болотах // Проблемы лесной биогеоэкологии: Сб. науч. тр. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. С. 140–155.
- Ефремов С. П., Ефремова Т. Т. Влияние осушения на за-груженность торфяной почвы корнями древесных и травянистых растений // Комплексная оценка болот и заболоченных лесов в связи с их мелиорацией. Сб. науч. тр. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. С. 113–127.
- Ефремов С. П., Ефремова Т. Т. Торфяные пожары как экологический фактор развития лесоболотных экосистем // Экология. 1994. № 5. С. 27–34.
- Глебов Ф. З., Литвиненко В. И. Динамика ширины годовичных колец в связи с метеорологическими показателями в различных типах болотных лесов // Лесоведение. 1976. № 4. С. 56–61.
- Глебов Ф. З., Погодина А. И., Даишкова И. С. Влияние гидроклиматических условий на рост болотных древостоев // Особенности лесоболотных экосистем Западной Сибири: Сб. науч. тр. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1978. С. 59–91.
- Зайдельман Ф. Р. Проблема защиты осушенных торфяных почв от пожаров и ее решение // Почвоведение. 2011. № 8. С. 1000–1009.
- Зайдельман Ф. Р. Минеральные и торфяные почвы полесских ландшафтов: Генезис, гидрология, агроэкология, мелиорация, защита от пожаров торфяников и лесов, рекультивация. М.: КРАСАНД, 2013. 440 с.
- Згуровская Л. Н. Строение и рост корневых систем древесных растений на различных типах болот // Заболоченные леса и болота Сибири: Сб. науч. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 127–146.
- Кирдянов А. В. Радиальный прирост хвойных в лесотундре и северной тайге Средней Сибири. Роль факторов внешней среды: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08. Красноярск: СФУ, 2017. 38 с.
- Кнорре А. А. Интеграционные подходы и методы дендрохронологии в изучении динамических процессов наземных экосистем разного типа: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 1.5.15. Красноярск: СФУ, 2023. 45 с.
- Комин Г. Е. Оценка прироста древостоев по модельным деревьям для дендроклиматического анализа // Тр. Ин-та экол. раст. и животных Урал. фил. АН СССР. 1970. Вып. 77. С. 64–82.
- Коронатова Н. Г., Косых Н. П. Продуктивность древесного яруса на верховых болотах в таежной зоне Западной Сибири // Лесоведение. 2022. № 4. С. 432–448.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. Учеб. пособ. для биол. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
- Орлов А. Я., Кошельков С. П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 324 с.
- Петров Н. Ф. Дифференцировочные таблицы для выделения возрастных групп в разновозрастных древостоях // Лесоводственные исследования в лесах Сибири: Сб. науч. тр. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. Вып. 2. С. 82–90.
- Полубояринов О. И. Оценка качества древесного сырья. Л.: ЛЛТА им. С. М. Кирова, 1971. 70 с.

- Полубояринов О. И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины. Л.: ЛЛТА им. С. М. Кирова, 1974. 96 с.
- Седых В. Н. Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука, 2009. 164 с.
- Седых В. Н. Динамика равнинных кедровых лесов Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
- Семечкин И. В. Динамика возрастной структуры древостоев и методы ее изучения // Вопросы лесоведения: Сб. науч. тр. Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1970. Т. 1. С. 422–446.
- Сирин А. А., Минаева Т. Ю., Возбранная А. Е., Барташев С. А. Как избежать торфяных пожаров // Наука в России. 2011. № 2. С. 13–21.
- Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: учеб. 3-е изд. М.: Бином-Пресс, 2007. 515 с.
- Храмов А. А., Валуцкий В. И. Лесные и болотные фитоценозы Восточного Васюганья (структура и биологическая продуктивность). Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1977. 222 с.
- Чекотовский Э. В. Графический анализ статистических данных в Microsoft Excel 2000. М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. 464 с.
- Черкашин В. П., Кузьмичев В. В. Статистический анализ рядов ширины годовичных колец деревьев. Препринт. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1977. 50 с.
- Zaidel'man F. R. The problem of fire control on drained peatlands and its solution // Euras. Soil Sci. 2011. V. 44. N. 8. P. 919–926 (Original Rus. text © F. R. Zaidel'man, 2011, publ. in Pochvovedenie. 2011. N. 8. P. 1000–1009).

## STRUCTURE OF THE ANNUAL RING POOL IN COMMUNITIES OF SWAMP AND DRY PINE FORESTS BETWEEN OB' AND TOM' RIVERS

### COMMUNICATION II. EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL ASPECTS

S. P. Efremov, T. T. Efremova, A. V. Pimenov, T. S. Sedel'nikova

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru, efr2@ksc.krasn.ru, pimenov@ksc.krasn.ru, tss@ksc.krasn.ru

Using the example of excessively wet and dry pine forests represented by Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on the northern boundary of the Ob' and Tom' interfluvium, the experimental application of a new original technique for recognizing and assessing the chronological mosaic of rows of the width of annual rings in the form of individual alternations and group-fused (vector) sets is substantiated. The basic volume of the discussed material is formed by 13 sample plots with a sample of 1493 trees in the age range of 22–367 years. They contain 244702 annual rings, the total width of which in linear terms is 151788 mm. their indicative potential is described by total and unevenly distributed arrays of annual rings in large and small samples of trees from 11 to 280 pcs. The diagnostics and interpretation of the distributed pool of rings are considered in the context of the forest society in connection with different intervals of their variability in the signs of annual increments. The necessary distinction is made by the difference between the width of each subsequent ring and the width of the previous one. It is shown that the method of sliding-step comparison of rings-years not only reliably records, but also mutually separates the variants of the coincidence of years with an increase, decrease and duplication of trends in annual increments in the rows of the width of the rings. The concepts of conditionally starting and ordinary rings are introduced, of which the latter are numerically and in total width much larger than the former. The expediency of their involvement in the calculations of general and ecotope-divided trial areas of the lines of age differences is argued. In a comparative key, the separated signs of especially informative arrays of annual rings of swamp pine forests of post-fire genesis are assessed for the first time. It has been shown that in cases of spontaneous and anthropogenic elimination of forest stands, the species is capable of forming age generations and types of native maternal pine forests not only on former but also on derivative ecotopes.

**Keywords:** bogs, dry lands, Scots pine, ecotopes, tree samples, age structure, tree ring arrays, growth signs, distribution criteria.

**How to cite:** Efremov S. P., Efremova T. T., Pimenov A. V., Sedel'nikova T. S. Structure of the annual ring pool in communities of swamp and dry pine forests between Ob' and Tom' rivers: Communication II. Experimental and analytical aspects // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 13–27 (in Russian with English abstract and references).

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

УДК 630\*562.2:631.841.7:571.51

### СПЕЦИФИКА ПРИРОСТА РАЗНОГУСТОТНЫХ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ В КОНТЕКСТЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА

А. А. Онучин, В. Е. Арясов, А. М. Шемберг

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: onuchin@ksc.krasn.ru, Vova\_aryasov@mail.ru, Antonschemberg@gmail.com

*Поступила в редакцию 20.05.2024 г.*

Проведены синхронные наблюдения за динамикой прироста древесины и хвои сосновых молодняков 22-летнего возраста на бывших сельскохозяйственных угодьях в Красноярской лесостепи. Установлено, что в перегушенных древостоях (с начальной густотой 40.7 тыс. шт./га) максимальный прирост древесины происходит в возрасте 15 лет, после чего наблюдается устойчивое его снижение. Насаждения с начальной густотой 10.8 тыс. шт./га, а также со сниженной в результате рубок ухода в 8-летнем возрасте до 2.9 тыс. шт./га демонстрируют продолжающееся увеличение прироста древесины в течение всего периода наблюдений. При этом в варианте с рубками ухода в возрасте 18 лет наблюдаются стабилизация и некоторое снижение прироста массы хвои, тогда как насаждения, не пройденные рубками ухода, независимо от начальной густоты сохраняют тенденцию увеличения прироста массы хвои. Кажущийся парадокс снижения в определенном возрасте прироста древесины с одновременным сохранением тенденции увеличения прироста хвои в перегушенном молодняке и снижение прироста хвои с одновременным сохранением тенденции увеличения прироста древесины в насаждении, пройденном рубками ухода, объясняется повышением эффективности работы ассимиляционного аппарата в условиях низкой конкуренции за ресурсы среды. Данный факт подтвержден специальными исследованиями эффективности фотосинтеза хвои в перегушенных сосняках и насаждениях, где деревья продуцируют в условиях, приближенных к свободному росту. Полученные результаты могут быть полезны при выращивании насаждений различного целевого назначения.

**Ключевые слова:** *сосновые молодняки, рубки ухода, густота древостоев, прирост хвои, прирост древесины, депонирование углерода, фотосинтез.*

DOI: 10.15372/SJFS20240503

#### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения закономерностей формирования сосновых древостоев обусловлена как их важным ресурсным значением, так и возрастающей ролью прочих экосистемных услуг в рамках ведения лесного хозяйства, что подразумевает жизненно важной для лесной отрасли России парадигмой устойчивого управления лесами. К числу экосистемных услуг отно-

сится и способность лесов депонировать атмосферный углерод, что способствует смягчению последствий изменения климата. Очевидно, что при оценке углерод депонирующей способности лесов необходимо принимать во внимание специфику накопления и деструкции органической массы различных частей деревьев. Такая специфика и будет определять особенности циклов углерода в насаждениях различного возраста и структуры, которая может формироваться по-

средством лесохозяйственных мероприятий, предусмотренных соответствующей системой управления лесами.

Известно, что формирование органического вещества растений происходит посредством фотосинтеза и поэтому изучение функций ассимиляционного аппарата может рассматриваться в качестве фундаментальной основы познания специфики роста древостоев. Знание закономерностей формирования древостоев в связи со спецификой их структуры позволит снизить риски принятия решений в части адаптивного лесосоуправления с одновременным обеспечением принципа дополненности при реализации лесоклиматических проектов. Одной из разновидностей лесоклиматических проектов являются так называемые карбоновые фермы, ставящие основной целью увеличение депонирования атмосферного CO<sub>2</sub>. В последнем случае весьма актуально знание не только прироста древесины, но и остальных компонентов фитомассы, включая хвою (листву).

Корректная оценка специфики прироста общей фитомассы и поглощения CO<sub>2</sub> имеет не только важное теоретическое, но и практическое значение, если вопрос касается торговли углеродными квотами, в том числе при реализации проектов по созданию карбоновых ферм (Онучин, Данилин, 2023).

Известно, что лесохозяйственные мероприятия посредством регулирования численности деревьев в древостое способны обеспечить густотно-возрастные оптимумы продуктивности, увеличить прирост древесины и депонирование углерода (Онучин и др., 2011; Разин, 2012).

Стартовые условия роста древостоев во многом определяют их дальнейшее развитие. Сосновые молодняки с высокой начальной густотой отличаются интенсивным приростом по сравнению с редкостойными насаждениями. Однако по мере роста и усиления внутривидовой конкуренции происходят элиминация оставших в росте экземпляров и снижение общего прироста древостоев, тогда как насаждения, деревья в которых развиваются в условиях, приближенных к свободному росту, продолжают увеличивать прирост, обгоняя по этому показателю таковые с большей начальной густотой (Бузыкин, Пшеничникова, 1999). Отсюда лесохозяйственные мероприятия, регулирующие структуру древостоев и определяющие траектории их дальнейшего роста наиболее целесообразно реализовать на ранних этапах формирования насаждений

(Рогозин, 2024). Рубки ухода позволяют регулировать доступность ресурсов среды для отдельных деревьев и определяют их физиологическую реакцию на изменение условий среды, включая интенсивность фотосинтеза, продолжительность жизни хвои, эффективность ее работы и т. д., таким образом, позволяя повысить общую продуктивность насаждений.

Цель настоящего исследования – изучение динамики прироста разногустотных сосновых молодняков в контексте эффективности работы ассимиляционного аппарата.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований служили молодняки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), сформировавшиеся на бывших сельскохозяйственных угодьях в Красноярской лесостепи (Онучин и др., 2022). Близость источников семян (стены соснового леса находятся на расстоянии менее 100 м от исследуемых молодняков) обеспечила относительно быстрое заселение пустующих сельхозугодий и способствовала формированию одновозрастных загущенных молодняков. На участках, удаленных на расстояние более 300 м от стены леса, сформировались молодняки, в которых на начальном этапе деревья росли в условиях, приближенных к свободному росту. Начало залесения территории – 2001–2002 гг. На части сосняка с высокой начальной густотой на момент закладки пробных площадей (пп) в 8-летнем возрасте проведены рубки ухода со снижением густоты до 2.9 тыс. шт./га (пп 3), в качестве контроля служил сосняк, не тронутый рубками (пп 5) с начальной густотой деревьев 40.7 тыс. шт./га. В насаждении, удаленном на 300 м от стены леса, заложена пп 2, представляющая собой одновозрастной сосняк с единично встречающимися деревьями березы (*Betula* L.), начальная густота которого составляла 10.8 тыс. шт./га. Размеры пп 3 и 2 составляли 20×20 м, пп 5, заложеной в насаждении с начальной густотой 40.7 тыс. шт./га, – 20×15 м. При этом обеспечивалось наличие буферных зон шириной не менее 5 м по всему периметру пробных площадей с соответствующей густотой (табл. 1).

Оценка основных таксационных характеристик древостоев проводилась по общепринятым методикам (Побединский, 1966; Моисеев, 1971; Усольцев, 2007). На пробных площадях проводился сплошной пересчет с замером диаметров на высоте груди и измерением высот

**Таблица 1.** Таксационная характеристика пробных площадей

Номер пп	Густота, шт./га	Средние			$\Sigma G$ , м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Полнота
		возраст, лет	$D_{1,3}$ , см	$H$ , м			
5	14 333	22	6.46 ± 2.6	9.3 ± 1.8	47.05 ± 0.1	245.44 ± 5.6	1.4
2	5775	22	9.66 ± 3.5	10.3 ± 1.4	42.29 ± 0.14	232.37 ± 5	1.3
3	2900	22	12.76 ± 3.3	11.2 ± 0.7	37.06 ± 0.17	219.16 ± 1.3	1

25–30 деревьев, выбираемых исходя из принципа пропорционально-ступенчатой представительности.

Для оценки прироста хвои, ветвей и корней в 2009, 2012 и 2021 гг. в буферных зонах каждой пробной площади отбирались модельные деревья по принципу пропорционально-ступенчатой представительности. Каждое модельное дерево разбиралось на отдельные фракции, которые взвешивались с отбором образцов на влажность. Возрастная структура хвои оценивалась путем взвешивания хвои отдельно по возрастам. Для оценки прироста хвои учитывалась ее масса за последние 2 года, в течение которых хвоя во всех вариантах опыта имела 100%-ю сохранность.

Оценка способности сосновых древостоев к усвоению световой энергии проводилась с использованием импульсного флуориметра Walz junior PAM (Heinz Walz GmbH). Измерения проводили по стандартной программе Light Curve в ПО Wincontrol 3. На каждой пробной площади подбирались по 5 модельных деревьев, охватывая низшую, среднюю и максимальную ступени толщины, у каждого дерева с южной стороны срезалась модельная ветвь из мутовки второго года жизни. У каждой ветви из средних частей побегов первого и второго года жизни отбиралось по 3 интактные хвоинки. Более детально методика изложена в руководстве по работе с флуориметром PAM (JUNIOR..., 2020). Эффективность работы фотосинтетического аппарата

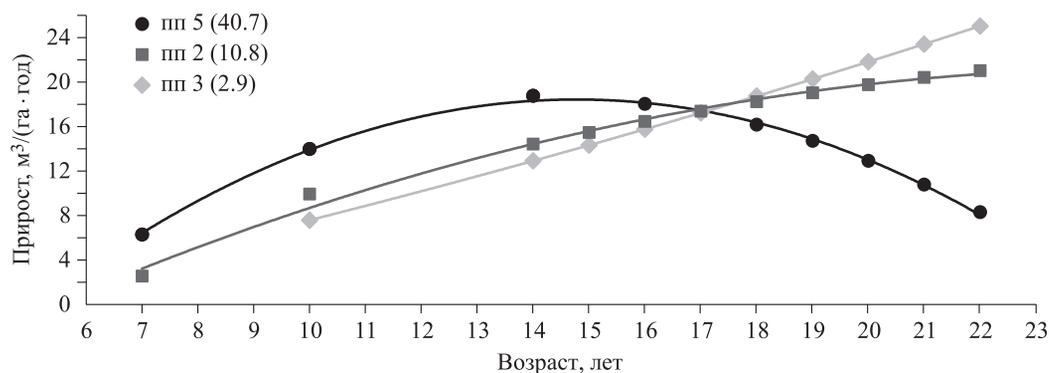
оценивалась посредством скорости переноса электронов (ETR) (Schansker, 2020).

Интегральную для древостоев скорость переноса электронов и прироста рассчитывали посредством использования характера распределения деревьев по ступеням толщины в каждом из насаждений.

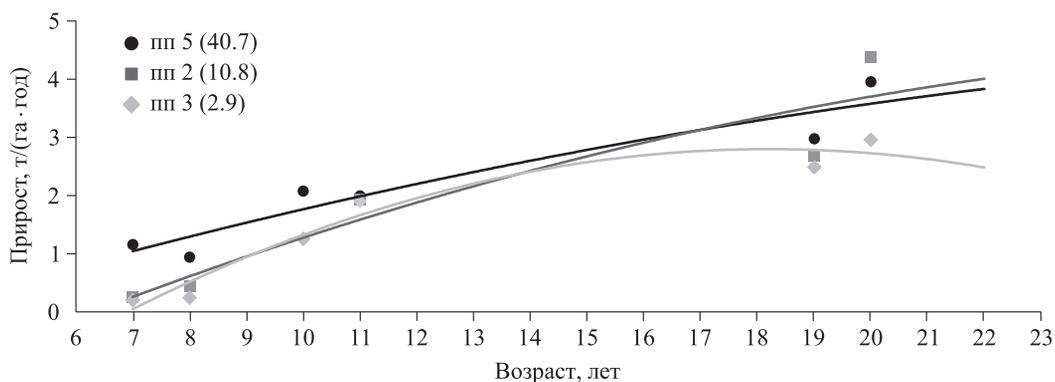
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика прироста исследуемых насаждений аппроксимировалась полиномом второго порядка (рис. 1).

На начальном этапе роста насаждений прирост древесины во всех вариантах опыта возрастает, однако с 15 лет в перегущенном варианте он начинает снижаться, что обусловлено, вероятно, усилением конкурентных отношений и элиминацией части носителей прироста. Тенденция увеличения прироста древесины с возрастом сохраняется в древостое с меньшей начальной густотой и в насаждении, пройденном рубками ухода. Однако с возрастом прирост в насаждении, пройденном рубками ухода, становится выше, нежели в варианте с меньшей начальной густотой. Выявленная специфика динамики прироста древесины исследуемых насаждений свидетельствует о том, что рубки ухода на начальном этапе роста древостоев могут обеспечить существенный лесоводственный эффект.



**Рис. 1.** Зависимость прироста древесины от возраста сосновых молодняков различной густоты.



**Рис. 2.** Прирост массы хвои в абсолютно сухом состоянии сосновых молодняков различной густоты.

фект и служить действенным способом формирования целевых насаждений. Данный результат нашего исследований согласуется с выводами М. В. Рогозина и Г. С. Разина (2012) о том, что период кульминации текущего прироста в насаждениях различной начальной густоты наступает в разные сроки. В плотных ценозах, где обострена конкуренция за ресурсы среды, максимум прироста наступает раньше, чем в низкоплотных насаждениях, и в первом случае он оказывается ниже, чем в насаждениях некой оптимальной густоты.

Следует отметить, что высокие значения прироста древесины, существенно превышающие таковые в сравнении с данными таблиц хода роста сосняков I класса бонитета, обусловлены разными причинами. В насаждениях, не пройденных рубками ухода, это – полнота древостоев, которая существенно выше табличной. В насаждении, пройденном рубками ухода, повышенный прирост обусловлен, очевидно, оптимальной для данного возраста густотой.

Фотосинтез является основополагающим процессом, благодаря которому растения получают энергию, необходимую для их роста и развития. Состояние фотосинтетического аппарата может служить критерием жизненного состояния и продуктивности, в том числе древесных растений и их сообществ. Очевидно, что процессы прироста древесины в сосновых молодняках также должны быть обусловлены параметрами ассимиляционного аппарата исследуемых насаждений.

В этой связи определенный интерес представляет анализ прироста хвои изученных насаждений (рис. 2).

Аппроксимация динамики прироста хвои проводилась тем же методом, что и прироста древесины.

Изменение прироста массы хвои в абсолютно сухом состоянии можно описать следующими уравнениями:

$$\text{пп 5 (40.7)} \quad y = -0.0045 \cdot x^2 + 0.316 \cdot x - 0.9488; \quad R^2 = 0.908; \quad (1)$$

$$\text{пп 2 (10.8)} \quad y = -0.0074 \cdot x^2 + 0.465 \cdot x - 2.6329; \quad R^2 = 0.886; \quad (2)$$

$$\text{пп 3 (2.9)} \quad y = -0.0219 \cdot x^2 + 0.7975 \cdot x - 4.4623; \quad R^2 = 0.954; \quad (3)$$

где  $y$  – значение прироста массы хвои в абсолютно сухом состоянии, т/(га·год);  $x$  – возраст, лет.

Древостои, не пройденные рубками ухода, независимо от начальной густоты демонстрируют устойчивую тенденцию повышения прироста массы хвои на протяжении всего периода наблюдений. В насаждении, пройденном рубками ухода, такая тенденция сохраняется до 18-летнего возраста. Затем прирост хвои стабилизируется на уровне 2.5 т/(га·год) и даже слегка снижается (рис. 2). Здесь мы, казалось бы, сталкиваемся с парадоксальной ситуацией, когда устойчивое увеличение прироста древесины в этом насаждении на протяжении всего периода наблюдений сопровождается снижением прироста массы хвои после 18-летнего возраста. В противоположность этому в максимально загущенном сосняке (пп 5), где вследствие обострившейся внутривидовой конкуренции начиная с 15-летнего возраста отмечено снижение темпов прироста древесины, прирост массы хвои сохраняет свои темпы. В то же время в сосняке, начальная густота которого составляла 10.8 тыс. шт./га, темпы прироста как древесины, так и хвои сохраняют тенденции устойчивого роста.

Для объяснения данного феномена нами проведена оценка состояния фотосинтетическо-

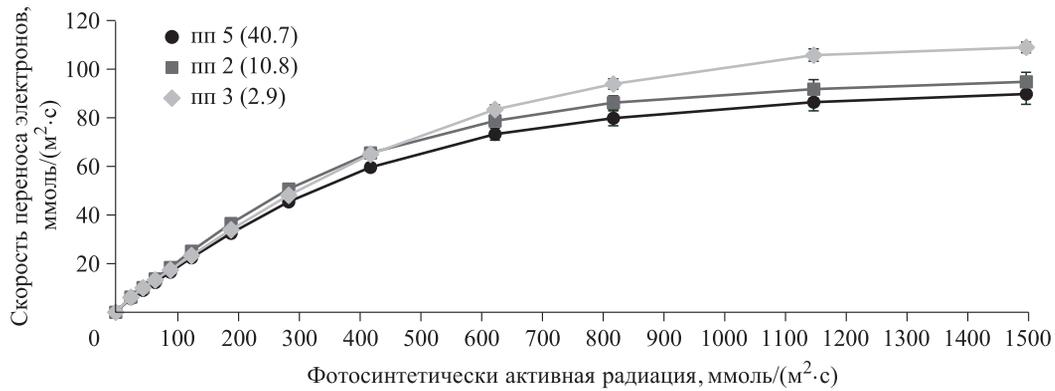


Рис. 3. Эффективность фотосинтеза сосновых молодняков различной густоты.

го аппарата. Продуктивность насаждений определяется не только массой ассимиляционного аппарата, а еще и интенсивностью фотосинтеза – эффективностью использования световой энергии и преобразованием углерода в органические соединения. Для оценки способности деревьев к усвоению световой энергии измерялась флуоресценция с использованием флуориметра JUNIOR-PAM. Эффективность работы фотосинтетического аппарата оценивалась по скорости переноса электронов (ETR) с учетом синтетически активной радиации (PAR) в период вегетации. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наибольшая скорость переноса электронов в большей части спектра (при высокой интенсивности) фотосинтетически активной радиации наблюдается у хвой деревьев, продуцирующих в условиях, приближенных к свободному росту (пп 3), тогда как в плотных древостоях она существенно ниже. Дисперсионный анализ показал значимые различия в скорости переноса электронов при высоких значениях PAR (820 и выше). Таким образом, можно констатировать, что хвоя деревьев, произрастающих в условиях, близких к свободному росту, функционирует более эффективно, особенно при высокой интенсивности солнечного света (рис. 3).

Если сравнивать эффективность работы хвой в части продуцирования стволовой древесины, то можно отметить, что в сосновых молодняках, пройденных рубками ухода (пп 3) 1 т хвой обеспечивает прирост 7 м<sup>3</sup> древесины в насаждениях, начальная густота которых составляла 10.8 тыс. шт./га, а в максимально густых – всего 4.7 м<sup>3</sup>. Полученные результаты могут использоваться при обосновании лесохозяйственных мероприятий, направленных на формирование структуры целевых сосновых насаждений. Кроме того, они позволяют понять феномен уменьшения прироста хвой в насаждениях,

пройденных рубками ухода, по сравнению с более плотными древостоями, где обострены конкурентные отношения и имеет место естественное самоизреживание. В относительно низкополнотных древостоях, пройденных рубками ухода, отмечена высокая эффективность работы ассимиляционного аппарата. Здесь также наблюдается и большая продолжительность жизни хвой (до 4 лет) по сравнению с более плотными насаждениями (не более 3 лет). Этот факт свидетельствует о том, что в таких условиях для поддержания на должном уровне жизненного состояния деревьев, формирующих совокупный древостой, достаточно и относительно невысокого прироста массы хвой.

В то же время в древостое, испытывающем наиболее жесткие конкурентные отношения, интенсивный прирост хвой компенсирует сокращение продолжительности ее жизни. Кроме того, он необходим и для поддержания на должном уровне жизненного состояния деревьев в данном насаждении, где и так уже наблюдается снижение прироста древесины.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что наибольший прирост древесины на ранних этапах роста древостоя характерен для перегущенных сосняков, однако с 15-летнего возраста наблюдается снижение прироста из-за обостренных конкурентных отношений, тогда как в древостоях с меньшей густотой, включая варианты с рубками ухода, прирост древесины продолжает увеличиваться.

Интересен парадокс, что при линейном увеличении прироста древесины в варианте с рубками ухода снижается прирост хвой, которая его обеспечивает. Более того, прирост ассимиляционного аппарата в перегущенных древостоях увеличивается, тогда как прирост древесины

значительно снижается. Этот феномен демонстрирует различия в эффективности работы фотосинтетического аппарата, который был подтвержден экспериментально.

Очевидно, что посредством регулирования густоты и структуры древостоев можно получать соответствующий лесоводственный эффект в зависимости от целевого назначения лесов, будь то карбоновые фермы либо промышленные плантации, ориентированные на заготовку различных сортиментов древесины.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № FWES-2024-0040 и реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бузыкин А. И., Пшеничникова Л. И. Влияние густоты на морфоструктуру и продуктивность культур сосны // Лесоведение. 1999. № 3. С. 38–43.
- Моисеев В. С. Таксация молодняков. Л.: ЛЛТА им. С. М. Кирова, 1971. 343 с.
- Онучин А. А., Маркова И. И., Павлов И. Н. Влияние рубок ухода на радиальный прирост стволов и формирование сосновых молодняков // Хвойные бореал. зоны. 2011. Т. 29. № 3–4. С. 258–267.
- Онучин А. А., Петренко А. Е., Собачкин Д. С., Собачкин Р. С. Реакция сосновых молодняков Красноярской лесостепи на изреживание и внесение азотных удобрений // Сиб. лесн. журн. 2022. № 3. С. 6–14.
- Онучин А. А., Данилин И. М. Способ формирования карбоновых ферм. Патент РФ на изобретение № 2807337. М.: Роспатент, 2023.
- Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов. 2-е изд. М.: Наука, 1966. 64 с.
- Разин Г. С. О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев // ИВУЗ. Лесн. журн. 2012. № 1. С. 18–23.
- Рогозин М. В. Влияние площадей питания на отпад деревьев в культурах сосны // Сиб. лесн. журн. 2024. № 1. С. 57–66.
- Рогозин М. В., Разин Г. С. Развитие древостоя и его константы // Вестн. Перм. гос. ун-та. Сер. Биол. 2012. № 2. С. 13–21.
- Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 637 с.
- Schanker G. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: Simple experiments with the JUNIOR-PAM chlorophyll fluorometer. First Ed. Effeltrich, Germany: Heinz Walz GmbH, 2020. 130 p.
- JUNIOR-PAM teaching chlorophyll fluorometer manual. Second Ed. Effeltrich, Germany, 2020. 77 p.

## **SPECIFICITY OF INCREMENT OF YOUNG PINE STANDS OF DIFFERENT DENSITY IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE IN THE CONTEXT OF EFFICIENCY OF ASSIMILATION APPARATUS**

**A. A. Onuchin, V. E. Aryasov, A. M. Schemberg**

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

---

E-mail: onuchin@ksc.krasn.ru, Vova\_aryasov@mail.ru, Antonschemberg@gmail.com

Synchronous observations of the dynamics of wood and needle increment in young 22-year-old pine stands on former agricultural lands in Krasnoyarsk forest-steppe were conducted. It was found that overcrowded stands (the initial density of which was 40.7 thousand pcs./ha) reach the maximum wood increment at the age of 15 years, after which a steady decrease is observed. Stands with an initial density of 10.8 thousand trees/ha, as well as stands, the density of which as a result of thinning at the age of 8 years was reduced to 2.9 thousand trees/ha, demonstrate a continuing increase in wood increment throughout the observation period. At the same time, in the variant with thinning, stabilization and some decrease in the increment of needle mass are observed at the age of 18 years, while stands that have not undergone thinning, regardless of the initial density, retain a tendency to increase the increment of needle mass. The apparent paradox of a decrease in wood increment at a certain age with simultaneous preservation of the tendency to increase needle increment in densely densified young growth and a decrease in needle increment with simultaneous preservation of the tendency to increase wood increment in a stand undergoing thinning is explained by an increase in the efficiency of the assimilation apparatus under conditions of low competition for environmental resources. This fact is confirmed by special studies of the efficiency of needle photosynthesis in densely densified pine forests and tree stands where trees produce under conditions close to free growth. The results obtained may be useful in growing stands for various purposes.

**Keywords:** *young pine stands, care logging, tree stand density, needle increment, wood increment, carbon sequestration, photosynthesis.*

**How to cite:** *Onuchin A. A., Aryasov V. E., Schemberg A. M. Specificity of increment of young pine stands of different density in Krasnoyarsk forest-steppe in the context of efficiency of assimilation apparatus // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 28–34 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*561.24

## РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ ДЕРЕВЬЕВ В АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННОМ ЛИСТВЕННИЧНИКЕ КРИОЛИТОЗОНЫ

В. Е. Бенькова<sup>1</sup>, А. В. Бенькова<sup>1</sup>, Д. А. Машуков<sup>1</sup>, А. С. Прокушкин<sup>1</sup>,  
А. В. Шашкин<sup>1</sup>, Е. А. Шашкин<sup>1</sup>, А. В. Качаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева  
660037, Красноярск, пр. имени газеты «Красноярский рабочий», 31

E-mail: benkova@yandex.ru, annie1977@yandex.ru, mashukov1988@gmail.com,  
prokushkin@ksc.krasn.ru, shashkin@ksc.krasn.ru, onlytmp@mail.ru, avkachaev@gmail.com

Поступила в редакцию 31.03.2024 г.

Приведены результаты исследования последствия антропогенного воздействия (прокладка через северотаежный лиственничник дороги – «зимника», функционировавшей с 1984 по 2002 г.) на радиальный рост деревьев лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.). Выявлено, что после прокладки дороги у деревьев, растущих в пределах антропогенно измененного участка, радиальный прирост резко возрос и достиг пиковых значений – 0.971–1.601 мм, в то время как в естественном древостое остался равным  $0.121 \pm 0.003$  мм. Измерения показали, что в конце августа сезонно-талый слой (СТС) на дороге и бровке ( $119.1 \pm 18.4$  и  $71.9 \pm 6.8$  см) существенно превышает таковой в естественном древостое ( $54.8 \pm 5.8$  см), т. е. на антропогенно измененном участке температура СТС в течение сезона возрастает быстрее и принимает более высокие значения. По скользящим климатическим функциям отклика индексов радиального прироста выявлено, что антропогенное воздействие модифицировало реакцию деревьев на влияние климатических факторов. Это выразилось в более ранней, по сравнению с естественным древостоем, реакции деревьев на весенне-раннелетние температуры воздуха, что свидетельствует о более раннем начале роста годичного кольца, а также в более продолжительной (конец мая – конец июня) по сравнению с контролем (конец мая – начало июня) реакции деревьев вблизи дороги на количество осадков. Сделано заключение, что модификация климатического сигнала и резкое увеличение радиального прироста обусловлены улучшением гидротермических условий на антропогенно измененном участке. Выявлено, что после прекращения эксплуатации дороги в 2002 г. гидротермические почвенные условия и радиальный прирост деревьев на антропогенно измененном участке леса «вернутся» к фоновому состоянию примерно через 30 лет, что сходно с постпирогенным восстановлением. Учет долговременных эффектов улучшения гидротермических свойств сезонно-талого слоя, уменьшения толщины органического слоя и формирование увеличенных радиальных приростов на антропогенно измененном участке древостоя может повысить точность оценок баланса углерода в лесных экосистемах криолитозоны.

**Ключевые слова:** радиальный прирост, лиственница Гмелина, антропогенное воздействие, гидротермические почвенные условия, климатические факторы.

DOI: 10.15372/SJFS20240504

### ВВЕДЕНИЕ

Текущее потепление климата, наиболее выраженное в последний полувек, привело к изменениям состояния лесов криолитозоны, связанным в значительной степени

с деградацией многолетней мерзлоты (Шиятов, 2009; Конищев, 2011; Николаев и др., 2011; Nikolaev et al., 2011; и др.). На лесные экосистемы в последнее время усиливается также и антропогенное влияние, связанное с интенсивным освоением северных территорий (прокладка

дорог, геологические изыскания и добыча полезных ископаемых, нефти и природного газа, лесозаготовки, строительство объектов и др.), которое может существенно модифицировать климатический эффект (Li et al., 2023). В связи с актуальностью вопросы «локальной адаптации» деревьев в лесах криолитозоны к изменению климата и сопутствующих условий произрастания, а также к антропогенной нагрузке были включены в перечень приоритетных направлений фундаментальных исследований РФ на 2021–2030 гг. Многочисленные исследования посвящены дендроэкологическим и физиологическим аспектам роста деревьев на многолетнемерзлых почвах (Гамалей, 2011; Бенькова и др., 2012; Брюханова и др., 2013; Bryukhanova et al., 2013; Машуков и др., 2020; Churakova-Sidorova et al., 2020; и др.). Работы по антропогенному влиянию на рост северных лесов не столь многочисленны. Большая часть их посвящена исследованию воздействию пожаров (Knorre et al., 2022 и др.) и промышленных загрязнений (Арсеньева, Чавчавадзе, 2001; Черненко и др., 2012; Кирдянов и др., 2014; Kirdeyanov et al., 2014; 2024; Kharuk et al., 2023; и др.).

Цель настоящей работы – выявление изменений радиального роста деревьев лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), возникших при антропогенном нарушении в лиственничнике, произрастающем на многолетнемерзлой почве, в связи с прокладкой через него дороги сезонного назначения («зимника»).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований находится на территории Нижне-Тунгусского округа лиственничных и лиственнично-темнохвойных северотаежных лесов Среднесибирской лесорастительной области и располагается в центральной части плато Сыверма, в районе слияния рек Кочечум и Нижняя Тунгуска (рис. 1, а). Климат района семигумидный, резко континентальный (Прокушкин и др., 2008). Средняя температура января  $-36.0$  °С, июля  $16.8$  °С, среднегодовая температура  $-8.8$  °С, среднегодовое количество осадков 364 мм, причем более половины из них приходится на летние месяцы (характеристики рассчитаны за период 1935–2016 гг. по данным метеостанции «Тура», ближайшей к району исследования (ВНИИГМИ-МЦД, 2024)).

Безморозный период длится 100 дней, период без заморозков на почве – 53–56 дней (цит.

по: Прокушкин и др., 2008). Вегетационный сезон составляет 70–90 дней (Буторина, 1979). Рост годовичного кольца деревьев лиственницы фактически прекращается к середине августа (Брюханова и др., 2013; Bryukhanova et al., 2013). Интенсивное потепление климата в районе исследования со второй половины 90-х годов XX в. демонстрируют положительные тренды температур мая, июня, июля по данным метеостанции «Тура» (Бенькова и др., 2015; Kirdeyanov et al., 2024).

Почвы – криогидроморфные криоземы гомогенные. Верхний 20-сантиметровый слой имеет положительные температуры примерно 4 мес в году (Ершов, 1994; Прокушкин, 2008). Измерения температуры почвы, проводимые А. С. Прокушкиным и сотрудниками лаборатории биогеохимических циклов в лесных экосистемах Института леса СО РАН (ИЛ СО РАН) в непрерывном режиме в лиственничнике на склоне северной экспозиции, произрастающем в 18 км от нашего места исследования, показали, что в 2004 г. положительные температуры под моховым покровом держались 3.5 мес, с 10 июня до 26 сентября, при этом в середине июля их максимальные значения не превышали  $8$  °С, на глубине 10 см –  $4.5$  °С и на глубине 20 см –  $3.5$  °С (Машуков и др., 2020). Снежный покров толщиной 40–50 см сохраняется до 207 дней (Ершов, 1994; Прокушкин, 2008; и др.). Лесная растительность занимает 80 % территории. Лиственница Гмелина формирует преимущественно монодоминантные древостои (Абаимов и др., 1997).

Исследования проводились в бассейне р. Нижняя Тунгуска, в среднем ее течении, на базе Эвенкийского опорного экспедиционного пункта ИЛ СО РАН (Эвенкийский муниципальный район Красноярского края). Для этого был выбран лиственничник багульниково-брусничный зеленомошный (10Л) послепожарного возобновления возрастом 120 лет (Kirdeyanov et al., 2024), произрастающий на склоне северной экспозиции с уклоном около  $2^\circ$  и характеризующийся V классом бонитета.

В 1984 г. однородность лиственничника была нарушена прокладкой через него дороги сезонного назначения – «зимника». Ее современный вид представлен на рис. 1, б. Во время полевых работ в 2017 г. было замечено, что деревья вблизи дороги – более крупные по сравнению с таковыми в глубине леса (рис. 2).

В частности, средний по 10 здоровым деревьям диаметр на высоте груди у деревьев в глубине леса был равен  $6.5 \pm 2.5$  см, а сред-



**Рис. 1.** Расположение района исследования в бассейне р. Нижняя Тунгуска (а) и пробных площадок (б) в глубине леса (ЛЕ) и на антропогенно измененных участках (КР 0, КР 1, КР 2). ДО – участок дороги, эксплуатировавшийся до 2002 г.

ная высота –  $5.9 \pm 1.5$  м. У деревьев, произрастающих в 10 м от бровки дороги, эти показатели были в 1.4–1.5 раз больше:  $8.5 \pm 1.5$  см и  $9.1 \pm 1.3$  м соответственно. Предположительно этот эффект возник в связи с улучшением условий роста, главным образом почвенных условий, на антропогенно измененном участке. Действительно, прокладывание временных дорог в криолитозоне, как отмечал С. А. Игловский (2013), приводит к локальному нарушению растительного покрова, изменениям верхних горизонтов почвы и микрорельефа, развитию эрозионных

и термокарстовых процессов; на нарушенных участках почва имеет более высокую температуру и большую глубину сезонно-талого слоя (СТС). Для выявления этих тенденций на наших объектах исследования были проведены трехразовые (в середине июня, июля и августа) измерения толщины сезонно-талого слоя в течение сезона 2017 г. на антропогенно измененном и естественном участках леса.

Для оценки влияния зимней дороги на рост деревьев в 2017 г. выделили участок дороги, который использовался до 2002 г. На нем были



**Рис. 2.** Участки лиственничника вблизи дороги на пп КР 1 (а) и в глубине леса на пп ЛЕ (б).

заложены пробные площадки (пп) с разной степенью воздействия: пп КР 0 – непосредственно на левой бровке, пп КР 1 и КР 2 – на расстоянии 10 и 40 м от правого края. В глубине леса, на расстоянии 100 м от дороги, заложили контрольную пп ЛЕ. Примечательно, что на пп ЛЕ отмечены суховершинные деревья, чего не наблюдалось на других пп. На рис. 2 представлены участки лиственничника на пп КР 1 (а) и пп ЛЕ (б).

Образцы для анализа (спилы несуховершинных деревьев) были отобраны в 2017 г. на высоте ствола 1.3 м в числе 25 шт. на пп ЛЕ (контроль), 10 шт. на пп КР 0, 22 – на пп КР 1, 10 – на пп КР 2. Ширину годичных колец (ШГК) определяли по двум радиусам на измерительных системах LINTAB v3.0 и LINTAB v5.0 с точностью 0.01 мм, перекрестное датирование полученных отдельных серий проводили с помощью TSAP-Win.TSAP v3.5. Датировку статистически верифицировали программой COFESHA.

Серии ШГК стандартизировали (индексировали) с использованием программного обеспечения ARSTAN (1995) (Holmes, 1983). На пп ЛЕ стандартизация (удаление из индивидуальных серий убывающего тренда) проводили отрицательной экспоненциальной функцией в период 1935–2016 гг. На пп КР 0, КР 1, КР 2 в связи со сложным характером динамики ШГК индексирование проводилось двумя функциями: отрицательной экспоненциальной функцией в 1935–1984 гг., которая нивелировала возрастную тренд, и «сглаживающей сплайн-функцией» в 1985–2016 гг., которая сглаживала колоколообразную форму на кривых в зависимостях ШГК.

Для выделения периодов времени в пределах сезона вегетации со значимым влиянием климатических факторов на радиальный рост лиственницы использовали метод расчета и анализа скользящих корреляционных климатических функций отклика. Рассчитывалась корреляция индексов ширины годичных колец с сериями скользящих с «окном» в 20 дней и «шагом» в 5 дней среднесуточных температур и суточных осадков. Ранее было показано, что такая длительность «окна» и «шага» оптимальна для мест с коротким сезоном роста (Симанько и др., 2013). Расчеты проводились с 10 апреля по 10 сентября, когда климатические факторы текущего сезона могут заметно повлиять на рост годичного кольца.

Чтобы выяснить, модифицирует ли антропогенный фактор климатический отклик радиального прироста, скользящие функции отклика рассчитывали отдельно для двух периодов вре-

мени – 1935–1984 и 1985–2016 гг., т. е. до прокладки дороги и после.

При построении функций отклика использовали суточные климатические данные (температуру воздуха и количество осадков) по метеостанции «Тура», за период 1935–2016 гг. (ВНИИГМИ-МЦД, 2024)

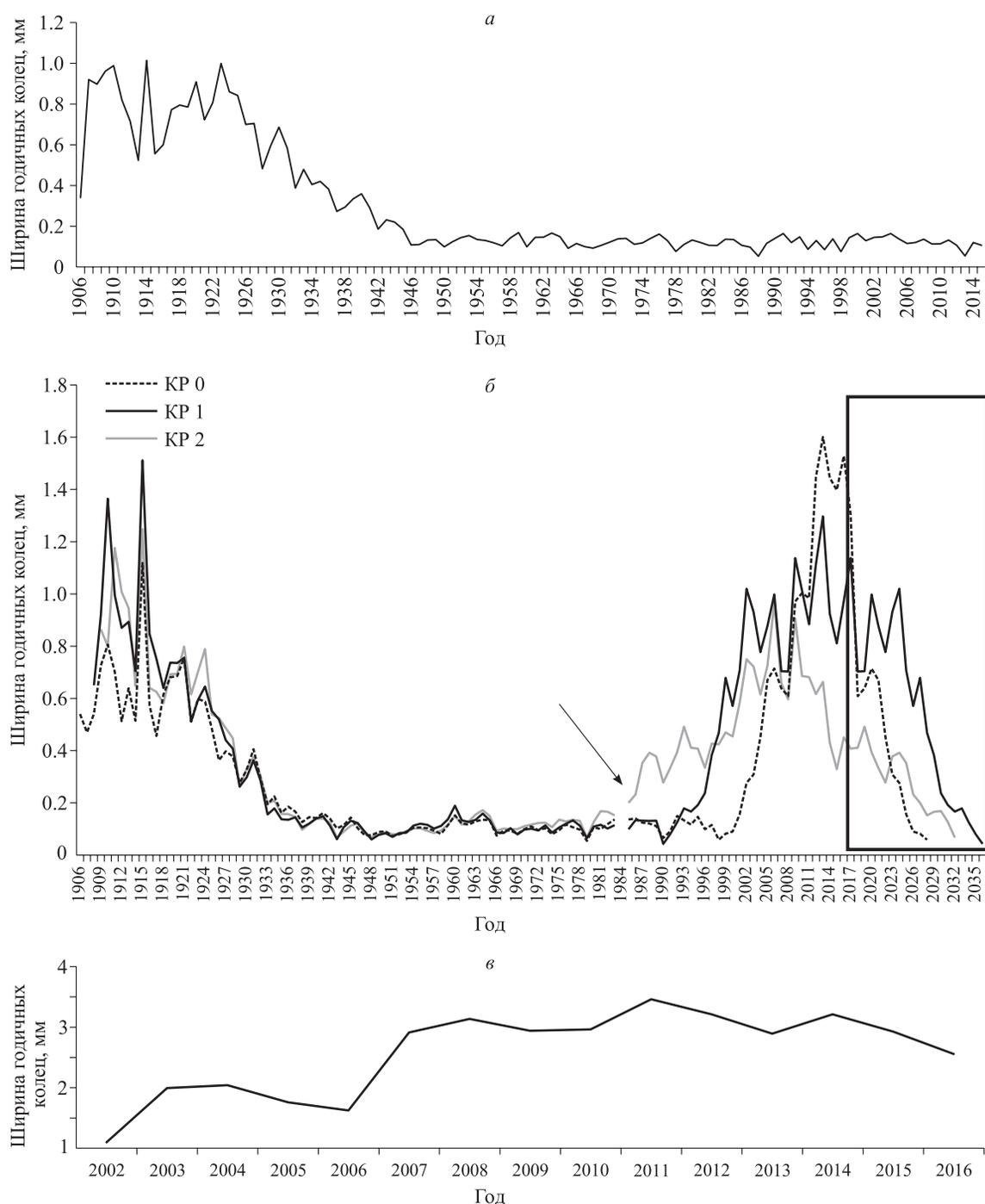
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Индивидуальные серии ширины годичных колец всех деревьев в пределах каждой пп в 1906–1984 гг. тесно коррелируют между собой: межсерийные коэффициенты корреляции варьируют в пределах 0.88–0.91 при  $p \leq 0.05$ . Это дает основание для построения обобщенной древесно-кольцевой хронологии, отражающей особенности роста всех деревьев на каждой пп.

Средние кривые хода роста, построенные для пробных площадок (рис. 3, а, б) имеют одинаковые особенности: первый максимум ШГК совпадает с границей между ювенильной и взрослой древесиной (Schweingruber, 1996), затем, до начала 1950-х годов, ШГК экспоненциально убывает и позже – стабилизируется. На контрольной пп ЛЕ деревья имели стабильный радиальный прирост до 2016 г. (т. е. до года сбора образцов), а на антропогенно измененном участке – до 1984 г. (т. е. до года прокладки дороги; рис. 3, б).

Усредненные по деревьям ходы роста на пп с разной степенью антропогенного влияния (КР 0, КР 1, КР 2) и контроле (пп ЛЕ) тесно коррелируют между собой в 1906–1984 гг. (коэффициенты парной корреляции  $R = 0.71–0.87$  при  $p \leq 0.05$ ). Средние значения ШГК за 1935–1984 гг. у деревьев на пп КР 0, КР 1, КР 2 достоверно не различались, но были несколько меньше, чем на пп ЛЕ (табл. 1).

После прокладки дороги в 1984 г. ШГК деревьев на антропогенно-измененных пп (рис. 3, б) резко возросла. Так, на пп КР 2 ее резкое увеличение началось в 1985 г., т. е. в следующем после прокладки дороги, на пп КР 1 – в 1993 г., т. е. через 9 лет, и на пп КР 0 – в 2001 г., через 17 лет после прокладки дороги. Различия в датах обусловлено тем, что правый край дороги подвергался эрозии от воздействия талых вод, из-за чего дорога постепенно сдвигалась влево (рис. 1, б), при этом менялись (улучшались) условия роста деревьев, оказавшихся у вновь образованной левой бровки.



**Рис. 3.** Ход роста ширины годичных колец (ШГК) с течением времени у деревьев лиственницы Гмелина на пробных площадках.

*a* – пп ЛЕ; *б* – в глубине леса, на антропогенно измененном участке: пп КР 1, КР 2, КР 0; *в* – в среднем по 10 молодым 30–40-летним деревьям на краю дороги. Значения ШГК после 2016 г. (выделенная прямоугольником справа область на рис. *б*) получены при экстраполяции колоколообразного участка квадратичной функции. Стрелкой обозначен год прокладки дороги (1984).

**Таблица 1.** Средняя ширина годичных колец ( $\pm$  ошибка среднего) деревьев лиственницы на пробных площадках до и после прокладки дороги, мм

Период	КР 0	КР 1	КР 2	ЛЕ
До прокладки дороги (1935–1984 гг.)	$0.110 \pm 0.004$	$0.110 \pm 0.003$	$0.117 \pm 0.003$	$0.161 \pm 0.001$
После прокладки дороги (1984–2016 гг.)	$0.536 \pm 0.006$	$0.597 \pm 0.004$	$0.521 \pm 0.002$	$0.121 \pm 0.003$

**Таблица 2.** Статистические характеристики индексированных древесно-кольцевых хронологий

Показатель	КР 0	КР 1	КР 2	ЛЕ
Длительность хронологии с 1935 г.	81	81	81	81
Средний коэффициент чувствительности	0.21	0.22	0.18	0.22
Средний Rbar	0.64	0.62	0.61	0.68
EPS	0.91	0.93	0.93	0.95
Стандартное отклонение	0.35	0.36	0.28	0.28

После последней расчистки (2001 г.) сформировалась бровка дороги, где в 2017 г. нами была заложена пп КР 0. Через определенное время (рис. 3, б), характеризующееся стабильным ростом, ШГК достигла пиковых значений: на пп КР 2 в 2006 г. –  $0.971 \pm 0.003$  мм, на пп КР 1 и КР 0 в 2013 г. –  $1.297 \pm 0.003$  и  $1.601 \pm 0.004$  мм соответственно. Затем наметилась тенденция к уменьшению ШГК. Как следствие на кривых хода роста обозначился колоколообразный участок (рис. 3, б). Средние значения ШГК за 1985–2016 гг. на антропогенно измененных пп оказались в 4–5 раз больше, чем на пп ЛЕ в естественном древостое и во столько же раз больше, чем на тех же пп за предыдущий период (1935–1984 гг.) (табл. 1).

Как было отмечено в предыдущем разделе, зависимости ШГК от времени в промежутке 1935–2016 гг. (в дендрохронологии – абсолютные древесно-кольцевые хронологии) на контрольной пп стандартизировали (индексировали) отрицательной экспоненциальной функцией, а на антропогенно измененном участке – с использованием двух функций: отрицательной экспоненциальной в 1935–1984 гг. и «сглаживающей сплайн-функцией» в 1985–2016 гг. Статистические характеристики индексированных древесно-кольцевых хронологий радиального прироста приведены в табл. 2.

Коэффициент чувствительности характеризует относительную погодичную изменчивость индексов прироста в индивидуальных индексированных хронологиях. По критерию С. Г. Шиятова с соавт. (2000), если коэффициент чувствительности больше 0.20, то индексированную хронологию можно использовать в дальнейшем анализе влияния климатических факторов на радиальный прирост. Коэффициент Rbar характеризует межсерийную корреляцию индивидуальных индексированных хронологий в пределах пп. Значение коэффициента EPS (expressed population signal) показывает, в какой степени реальная хронология на пп «отражает гипотетическую, представленную бесконечным количеством деревьев. При значениях

$EPS \geq 0.85$  хронология считается достаточно представительной» (Briffa, Jones, 1990).

Индексированные хронологии КР 0, КР 1 и ЛЕ характеризуются коэффициентом чувствительности, большим 0.20, т. е. их, по критерию С. Г. Шиятова с соавт. (2000), можно использовать в дальнейшем анализе влияния климатических факторов на радиальный прирост. Исключение составляет хронология КР 2 с коэффициентом чувствительности 0.18. В то же время, довольно высокая межсерийная корреляция (Rbar = 0.61) и выраженный популяционный сигнал (EPS = 0.93) свидетельствуют о том, что и эту хронологию, так же, как и остальные, можно использовать для дальнейшего анализа.

Судя по значениям коэффициента Rbar, серии индексированных ШГК деревьев в пределах каждой пробной площадки довольно хорошо коррелируют между собой, т. е. динамику их радиального роста хорошо описывает усредненная индексная кривая. Средние индексированные древесно-кольцевые хронологии радиального прироста представлены на рис. 4.

Для того чтобы ответить на вопрос, скажется ли антропогенное воздействие на климатическом отклике деревьев, мы построили скользящие корреляционные функции отклика индексов радиального прироста на температуру воздуха и количество осадков для двух временных периодов: до прокладки дороги (1935–1984 гг.) и после (1985–2016 гг.). Коэффициенты корреляции  $-0.29 \geq R \geq 0.29$  в первый период и  $-0.37 \geq R \geq 0.37$  во второй значимы при  $p \leq 0.05$  для всех хронологий. На скользящих функциях отклика индексов радиального прироста выделяются периоды сезона роста со значимым влиянием климатических факторов на ширину годичных колец (рис. 5).

**Первый временной период (1935–1984 гг.).** На пп ЛЕ и КР 0 во второй декаде августа индексы радиального прироста положительно коррелируют с температурами воздуха ( $p \leq 0.05$ ). На всех остальных пп значимой корреляции с температурой воздуха не выявлено (рис. 5, а).

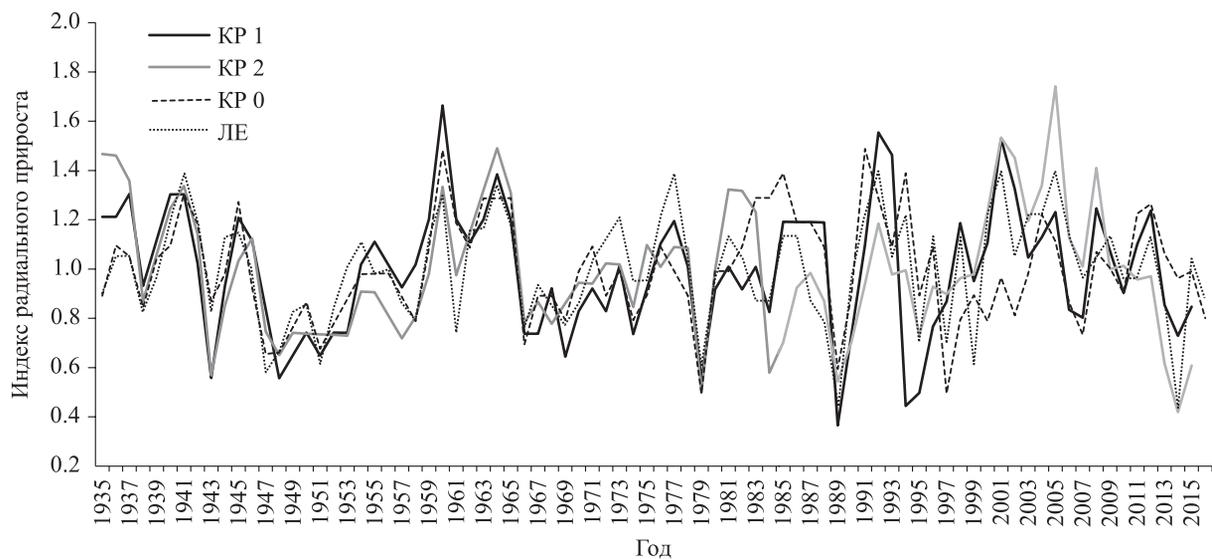


Рис. 4. Индексированные древесно-кольцевые хронологии радиального прироста лиственницы.

Корреляция индексов радиального прироста деревьев с количеством осадков незначима на всех пп (рис. 5) при  $p \leq 0.05$ .

**Второй временной период (1985–2016 гг.).** Функции отклика существенно отличаются более тесной корреляционной связью индексов радиального прироста с климатическими факторами по сравнению с предыдущим периодом.

На пп КР 1, КР 2 и ЛЕ во второй половине апреля индексы радиального прироста отрицательно коррелируют с температурами воздуха ( $p \leq 0.05$ ; рис. 5, а).

Выявлена положительная связь индексов прироста с температурой на пп КР 0 – в начале мая, на пп КР 1 – со второй декады мая до конца первой половины июня, на пп КР 2 – в середине июня, на пп ЛЕ – с конца мая до конца июня.

Значимая положительная корреляция индексов прироста с количеством осадков (рис. 5, б) выявлена на пп КР 1 (конец мая – конец июня), КР 2 (конец мая – начало июня и конец июня) и на пп ЛЕ в конце мая.

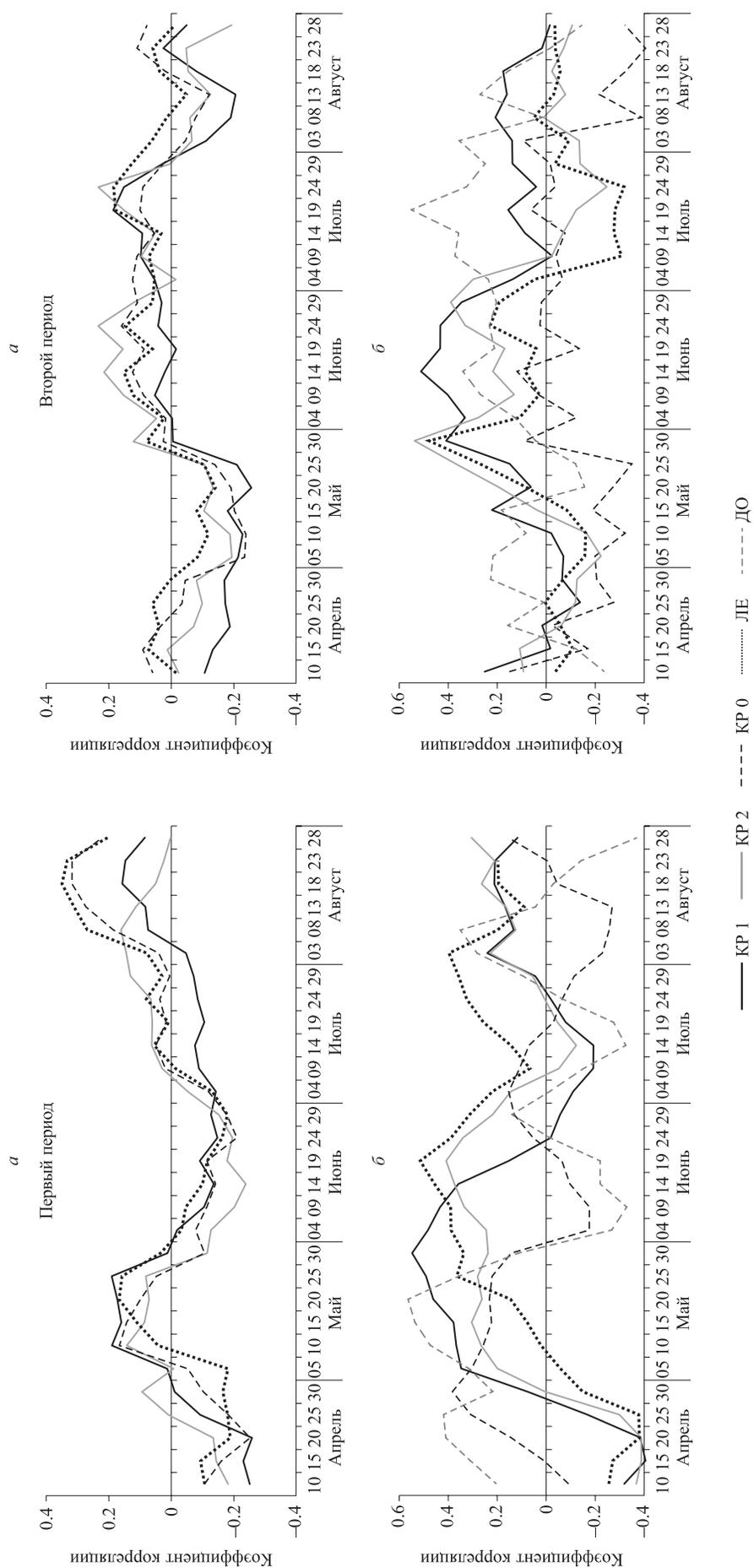
Во второй-третьей декаде августа индексы прироста на КР 0 отрицательно коррелируют с температурами воздуха.

После прокладки дороги деревья лиственницы на антропогенно-измененном участке существенно повысили скорость радиального роста, чего не произошло в естественном древостое, поскольку и те и другие произрастают в одинаковых климатических условиях, можно утверждать, что резкий рост продуктивности не связан с потеплением климата. При прокладке и эксплуатации дороги нарушается термоизолирующий мохово-лишайниковый покров, в связи с

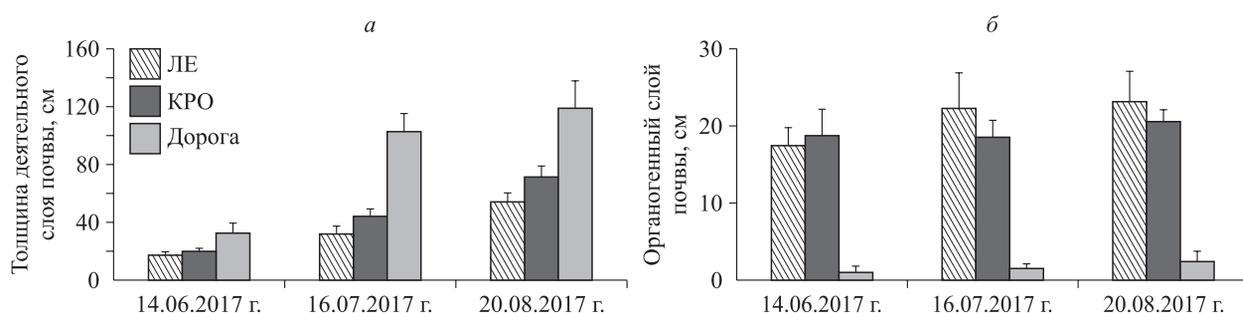
чем гидротермические условия на участке дороги ДО и вблизи него улучшаются. Действительно, данные прямых измерений в 2017 г. показали (рис. 6, а), что уже к середине июня глубина оттаивания сезонно-талого слоя (СТС  $\pm$  стандартное отклонение) на дороге становится почти в 2 раза больше, чем на контроле ( $32.9 \pm 6.6$  и  $17.3 \pm 2.3$  см), в то время как между контролем и бровкой не проявляется заметного различия по этому показателю.

Через месяц толщина СТС на дороге становится более чем в 3 раза больше, чем на контроле ( $103 \pm 12.3$  и  $32.6 \pm 5.6$  см соответственно); существенная разница в 2.2 раза между этими показателями сохраняется до конца августа. На бровке к середине июля среднее значение СТС становится на 11.2 см, а к концу августа – на 17.1 см больше, чем на контроле, т. е. непосредственно на дороге и вблизи нее почвы прогреваются быстрее и в течение сезона имеют более высокие температуры, чем в естественном древостое.

Толщина органического слоя на дороге очень мала, примерно в 10 раз меньше, чем на бровке и в контроле, и эта разница сохраняется в течение сезона. Контроль и бровка дороги по этому показателю слабо различаются в середине июня ( $17.3 \pm 2.3$  и  $18.7 \pm 3.3$  см), однако к середине июля и до конца августа на бровке дороги он (показатель) становится достоверно меньше, чем на дороге (на 3.8 и 2.5 см соответственно). Таким образом, повышенный радиальный прирост деревьев на антропогенно измененном участке относительно контроля не связан с улучшением питательных свойств почвы.



**Рис. 5.** Скользящие корреляционные функции отклика индексов радиального прироста деревьев, произрастающих на контроле (ЛЕ) и антропогенно измененных пробных площадках вблизи дороги (КР 0, КР 1 и КР 2), на температуру воздуха (а) и осадки (б).  
 Значимые коэффициенты корреляции: первый период  $-0.29 \geq R \geq 0.29$ , второй  $-0.37 \geq R \geq 0.37$ .



**Рис. 6.** Толщина сезонно-талого (*а*) и органогенного (*б*) слоев на участке дороги ДО, у бровки дороги на пп КР 0 и в глубине леса на пп ЛЕ в сезон 2017 г.

Данные, приведенные на рис. 6, показывают, что даже через 15 лет после прекращения эксплуатации термические условия на опытном участке дороги и вблизи нее – более благоприятные для роста растительности по сравнению с контрольным участком леса.

Как отмечалось выше, после достижения пиковых значений наметилась тенденция постепенного уменьшения ширины годовых колец (см. рис. 3, *б*). Последнее связано с тем, что после прекращения эксплуатации дороги на исследуемом участке (2002 г.) восстанавливается термоизолирующий мохово-лишайниковый покров, и гидродинамические свойства почвы постепенно «возвращаются» к фоновому состоянию. Чтобы выявить, через сколько лет это произойдет, мы экстраполировали правую ветвь колоколообразных участков на кривых хода роста на последующий за 2016 г. период времени (см. рис. 3, *б*, область выделена прямоугольником). Для экстраполяции использовали квадратичную функцию, которая хорошо описывает этот участок кривой ( $R > 0.86$  при  $p \leq 0.01$ ). Мы выяснили, что после прекращения эксплуатации дороги гидротермические почвенные условия и соответственно радиальный прирост деревьев на антропогенно измененном участке леса «вернутся» к фоновому состоянию через  $30 \pm 4$  года. Примерно такое же время требуется для постпирогенного восстановления состояния криогенных лесных почв и радиальных приростов лиственницы (Knorre et al., 2022; и др.).

Для выявления эффекта потепления климата на радиальный прирост мы сравнивали периоды 1935–1984 гг. и 1985–2016 гг. по климатическому отклику индексов радиального прироста на каждой пп. Более выраженную реакцию деревьев на погодные условия как в антропогенно измененном, так и естественном участках леса в 1985–2016 гг. по сравнению с предыдущим периодом мы связываем с текущим потеплением

климата. Возросло влияние апрельских температур воздуха на формирование годового прироста. Ранее было установлено, что сезон радиального роста деревьев лиственницы Гмелина в 18 км от наших пп начинается в первых числах июня и заканчивается, как правило, к середине августа (Yasue et al., 2010; Брюханова и др., 2013; Bryukhanova et al., 2013). В предшествующий период происходит предсезонная реактивация камбия, которая может длиться до 2 мес (Prislan et al., 2011). Теплый апрель «провоцирует» раннее начало этого процесса. Последующие за оттепелью заморозки, типичные для данной местности, могут затормозить или вообще остановить процесс реактивации, что негативно скажется на ширине годового кольца. В связи с тем, что в последние десятилетия май-июньский период стал более теплым (Бенькова и др., 2015; Кирдянов и др., 2014; Kirdyanov et al., 2014, 2024), усилилось положительное влияние температуры на ширину годового кольца в этот период времени, т. е. в начале и во время интенсивного роста. В то же время снизилась влияние августовских температур на радиальный прирост.

В результате сравнительного анализа климатического отклика индексов радиального прироста на антропогенно измененном участке и на контроле в период 1985–2016 гг. мы выявили, что рассмотренное в работе антропогенное воздействие модифицирует реакцию деревьев на влияние климатических факторов. Это выражается в более ранней по сравнению с контролем реакции деревьев на антропогенно измененном участке на майские и июньские температуры воздуха, что в совокупности с данными по сезонной динамике толщины СТС может свидетельствовать о более раннем начале роста годового кольца, а также в более продолжительной (конец мая – конец июня) по сравнению с контролем (конец мая – начало июня) реакции деревьев,

произрастающих вблизи дороги, на количество осадков, что свидетельствует о более жестком дефиците доступной влаги. Осадки используются деревьями как основной источник воды, восполняющий дефицит влаги в начале сезона роста, когда поверхностный слой почвы еще не оттаял. В то же время деревья, произрастающие на самой бровке, не реагируют на количество осадков в этот период сезона. Их потребность в воде обеспечивается потоками талой воды вдоль дороги, поверхность которой прогревается быстрее и имеет более высокую температуру.

Из сказанного выше можно заключить, что основной причиной модификации климатического отклика у деревьев на антропогенно измененном участке леса являются лучшие, чем на контроле, гидротермические условия роста.

Возможно, что на антропогенно измененном участке древостоя могут сформироваться такие условия роста, при которых эффекты «весенне-летнего потепления» и антропогенного воздействия могут усилить друг друга. Косвенным подтверждением этому служит сравнительно высокая скорость радиального роста молодых 30–40-летних деревьев, начавших свой рост в более теплых климатических условиях на расчищенном участке по левому краю дороги (см. рис. 3). Их средний прирост в ювенильной древесине, сформированной в 2001–2016 гг. на высоте ствола 1.3 м, почти в 3 раза больше, чем таковой в ювенильной древесине сравнительно старых деревьев, сформированной в 1906–1926 гг. (см. рис. 3, а, в).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После прокладки дороги сезонного назначения («зимника») через лиственничник послепожарного возобновления на прилегающем к дороге участке леса резко улучшились гидротермические свойства многолетнемерзлых почв. Увеличилась глубина сезонного оттаивания. Это значит, что температура сезонно-талого слоя на этом участке стала возрастать быстрее и принимать более высокие значения, чем в естественном древостое. Как результат резко возросли радиальный прирост и чувствительность его к влиянию климатических факторов. Реакция годовичного кольца на погодные условия стала проявляться в более ранние сроки весенне-раннелетнего периода сезона, что в совокупности с улучшением гидротермических почвенных условий может свидетельствовать о более раннем начале сезона роста на антропогенно изме-

ненном участке по сравнению с естественным участком леса.

После прекращения эксплуатации дороги гидротермические почвенные условия и соответственно радиальный прирост деревьев на антропогенно измененном участке леса «вернутся» к фоновому состоянию примерно через 30 лет. Такое же время требуется для постпирогенного восстановления состояния криогенных лесных почв и радиальных приростов лиственницы.

Учет долговременных эффектов улучшения гидротермических свойств сезонно-талого слоя, уменьшения толщины органического слоя и формирования увеличенных радиальных приростов на антропогенно измененном участке древостоя может повысить точность оценок баланса углерода в лесных экосистемах криолитозоны.

*Работа выполнена по государственному заданию по базовому проекту ИЛ СО РАН «Динамика компонентов углеродного цикла экосистем Сибири в меняющемся климате» (2024–2026 гг.). FWES-2024-0023.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А., Каверзина Л. Н. Особенности формирования и функционирования лиственничных лесов на мерзлотных почвах // Лесоведение. 1997. № 5. С. 13–23.
- Арсеньева, Т. В., Чавчавадзе Е. С. Эколого-анатомические аспекты изменчивости древесины сосновых из промышленных районов Европейского Севера. СПб.: Наука, 2001. 109 с.
- Бенькова В. Е., Шашкин А. В., Наурзбаев М. М., Прокушкин А. С., Симанько В. В. Значение микроэкологических условий для роста лиственницы Гмелина в экотоне верхней границы леса на полуострове Таймыр // Лесоведение. 2012. № 5. С. 59–70.
- Бенькова А. В., Мацуков Д. А., Бенькова В. Е., Прокушкин А. С., Шашкин А. В. Значение экспозиции склонов для роста лиственницы Гмелина в мерзлотных условиях Средней Сибири. I. Различия в динамике радиального прироста деревьев на склонах северной и южной экспозиции // Сиб. лесн. журн. 2015. № 4. С. 18–29.
- Брюханова М. В., Кирдянов А. В., Прокушкин А. С., Силкин П. П. Особенности ксилогенеза *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. в условиях криолитозоны Средней Сибири // Экология. 2013. № 5. С. 323–329.
- Буторина Т. Н. Биоклиматическое районирование Красноярского края // Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 231 с.
- ВНИИГМИ-МЦД (Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Обнинск, 2024. <http://mete.ru>
- Гамалей Ю. В. Криофиты Евразии: происхождение и структурно-функциональная специфика // Бот. журн. 2011. Т. 96. № 12. С. 1521–1546.

- Ершов Ю. И. Мезоморфное почвообразование в таежно-мерзлотном семигумидном секторе Средней Сибири // Почвоведение. 1994. № 10. С. 10–18.
- Игловский С. А. Антропогенная трансформация мерзлотных условий Европейского Севера России и ее последствия // Арктика и Север. 2013. № 10. С. 107–124.
- Кирдянов А. В., Мыглан В. С., Пименов А. В., Кнорре А. А., Экарт А. К., Ваганов Е. А. Динамика усыхания лиственницы сибирской в зоне влияния техногенных эмиссий предприятий Норильского промышленного района // Сиб. экол. журн. 2014. № 6. С. 945–952.
- Конищев В. Н. Реакция вечной мерзлоты на потепление климата // Криосфера Земли. 2011. Т. 15. № 4. С. 15–18.
- Машуков Д. А., Бенькова А. В., Бенькова В. Е., Шашкин А. В., Прокушкин А. С. Радиальный прирост и анатомическая структура древесины стволов здоровых и суховершинных деревьев лиственницы на многолетней мерзлоте // Лесоведение. 2020. № 6. С. 1–10.
- Николаев А. Н., Федоров П. П., Десяткин А. Р. Влияние гидродинамического режима мерзлотных почв на радиальный прирост лиственницы и сосны в центральной Якутии // Сиб. экол. журн. 2011. Т. 18. № 2. С. 189–201.
- Прокушкин С. Г. Структурно-функциональные особенности лиственницы Гмелина в криолитозоне Центральной Эвенкии. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008. 161 с.
- Симанько В. В., Бенькова А. В., Шашкин А. В. Применение метода «скользящих функций отклика» для выявления влияния климатических факторов на радиальный рост деревьев // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 7. С. 188–194.
- Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.
- Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазена В. С., Наурызбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: КГУ, 2000. 80 с.
- Черненко Т. В., Бочкарев Ю. Н., Фридрих М., Беттгер Т. Воздействие природно-антропогенных факторов на радиальный прирост деревьев Кольского Севера // Лесоведение. 2012. № 4. С. 3–15.
- ARSTAN. Chronology development with statistical analysis. Version 1.26V 09: 14 Mon 01 May 1995. <https://sheppard.ltr.arizona.edu/DISC2019/arstan.txt>
- Briffa K. R., Jones P. D. Measuring the statistical quality of a chronology In: Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences / E. R. Cook and L. A. Kairiukstis (Eds.). Springer Dordrecht, 1990. P. 137–152.
- Bryukhanova M. V., Kirilyanov A. V., Prokushkin A. S., Silkin P. P. Specific features of xylogenesis in Dahurian larch, *Larix gmelinii* (Rupr.), growing on permafrost soils in middle Siberia // Rus. J. Ecol. 2013. V. 44. N. 5. P. 361–366 (Original Rus. Text © M. V. Bryukhanova, A. V. Kirilyanov, A. S. Prokushkin, P. P. Silkin, 2013, publ. in Ekologiya. 2013. N. 5. P. 323–329).
- Churakova-Sidorova O. V., Lienert S., Timofeeva G., Siegwolf R., Roden J., Joos F., Saurer M. Measured and modelled source water  $\delta^{18}\text{O}$  based on tree-ring cellulose of larch and pine trees from the permafrost zone // iForest – Biogeosci. & For. 2020. V. 13. Iss. 3. P. 224–229.
- Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bull. 1983. V. 43. P. 69–75.
- Kharuk V. I., Petrov I. A., Im S. T., Golyukov A. S., Dvinskaya M. L., Shushpanov A. S. Pollution and climatic influence on trees in the Siberian Arctic wetlands // Water. 2023. V. 15. Iss. 2. Article 215. 18 p.
- Kirilyanov A. V., Myglan V. S., Pimenov A. V., Knorre A. A., Ekart A. K., Vaganov E. A. Die-off dynamics of Siberian larch under the impact of pollutants emitted by Norilsk enterprises // Contemp. Probl. Ecol. 2014. V. 7. N. 6. P. 679–684 (Original Rus. Text © A. V. Kirilyanov, V. S. Myglan, A. V. Pimenov, A. A. Knorre, A. K. Ekart, E. A. Vaganov, 2014, publ. in Sib. ecol. zhurn. 2014. N. 6. P. 945–952).
- Kirilyanov A. V., Saurer M., Arzac A., Knorre A. A., Prokushkin A. S., Churakova (Sidorova) O. V., Arosio T., Bechuk T., Siegwolf R. T. W., Bontgen U. Thawing permafrost can mitigate warming-induced draught stress in boreal forest trees // Sci. Total Environ. 2024. V. 912. Article 168858.
- Knorre A. A., Siegwolf R. T. W., Kirilyanov A. V., Saurer M., Sidorova O. V., Prokushkin A. S. Fire as a major factor in dynamics of tree-growth and stable  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  variations in larch in the permafrost zone // Forests. 2022. V. 13. Iss. 5. Article 725. 17 p.
- Li Q., Marshall J., Rye C. D., Romanou A., Rind D., Kelley M. Global climate impacts of Greenland and Antarctic meltwater: A comparative study // J. Climate. 2023. V. 36. N. 11. P. 3571–3590.
- Nikolaev A. N., Fedorov P. P., Desyatkin A. R. Effect of hydrothermal conditions of permafrost soil on radial growth of larch and pine in Central Yakutia // Contemp. Probl. Ecol. 2011. V. 4. N. 2. P. 140–149 (Original Rus. Text © A. N. Nikolaev, P. P. Fedorov, A. R. Desyatkin, 2011, publ. in Sib. ecol. zhurn. 2011. V. 18. N. 2. P. 189–201).
- Prislan P., Schmitt U., Koch G., Gričar J., Čufar K. Seasonal ultrastructural changes in the cambial zone of beech (*Fagus sylvatica*) grown at two different altitudes // IAWA J. 2011. V. 32. N. 4. P. 443–459.
- Schweingruber F. H. Tree rings and environment: Dendroecology. Berne, Switzerland: Paul Haupt, 1996. 609 p.
- Yasue K., Kujansuu J., Kajimoto T., Nakai Y., Koike T., Abaimov A. P., Matsuura Y. Seasonal changes in stem radial growth of *Larix gmelinii* in Central Siberia in relation to its climatic responses // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R. W. Wein (Eds.). Ecol. Stud. V. 209. Springer Dordrecht, 2010. P. 331–345.

## RADIAL GROWTH OF TREES IN ANTHROPOGENICALLY MODIFIED LARCH FOREST OF THE CRYOLITHOZONE

V. E. Benkova<sup>1</sup>, A. V. Benkova<sup>1</sup>, D. A. Mashukov<sup>1</sup>, A. S. Prokushkin<sup>1</sup>,  
A. V. Shashkin<sup>1</sup>, E. A. Shashkin<sup>1</sup>, A. V. Kachaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

<sup>2</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology  
Prospekt imeni gazety «Krasnoyarskiy Rabochiy», 31, Krasnoyarsk, 660037 Russian Federation

---

E-mail: benkova@yandex.ru, annie1977@yandex.ru, mashukov1988@gmail.com,  
prokushkin@ksc.krasn.ru, shashkin@ksc.krasn.ru, onlytmp@mail.ru, avkachaev@gmail.com

The effect of anthropogenic impact (cutting of a «winter road» in 1984, in effect until 2002) on the radial growth dynamics of Gmelin larch trees (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), growing in permafrost larch forest has been analyzed. It has been established, that after the construction of the winter road the tree ring widths of the trees within the anthropogenically disturbed area increased sharply and after several years reached the peak values (0.971–1.601) mm, while in the natural stand it remained at the level of  $0.121 \pm 0.003$  mm. Measurements showed that at the end of August (2017) the seasonally thawing layers on the abandoned road site and on the forest edge site ( $119.1 \pm 18.4$  and  $71.9 \pm 6.8$  cm) were significantly larger than that in the natural stand ( $54.8 \pm 5.8$  cm). I.e., in the latter the temperature of the seasonally thawing layer increased faster and took on higher values. Using sliding climatic response functions of the radial increment indices, we revealed that anthropogenic impact modified the response of the trees to the influence of climatic factors. They manifested an earlier, in comparison with the natural stand, reaction of trees to spring-early summer air temperatures that show an earlier start of growth of the annual ring. We revealed also longer (end of May – end of June) dependence of the trees growing on the forest edge to precipitation compared to the native forest (end of May – beginning of June). We concluded that the modifications of the climatic response and a sharp increase of radial increment were due to the improvement of hydrothermal growth conditions in the anthropogenically disturbed area. Using extrapolation of the radial growth curves to future period of time, we can come to recognize that after finishing exploitation of the road in 2002, hydrothermal soil conditions and tree ring values in the anthropogenically modified forest sites will «return» to the background state in about 30 years, which is similar to post-pyrogenic restoration. Taking into account post-anthropogenic long-term effect manifested in improving the hydrothermal growth conditions, reducing the thickness of the organic layer and the formation of larger radial growth increments, the estimations of carbon balance in boreal forests growing on permafrost soils will make a significant improvement.

**Keywords:** radial increment, Gmelin larch, anthropogenic impact, hydrothermal soil conditions, climate factors.

**How to cite:** Benkova V. E., Benkova A. V., Mashukov D. A., Prokushkin A. S., Shashkin A. V., Shashkin E. A., Kachaev A. V. Radial growth of trees in anthropogenically modified larch forest of the cryolithozone // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 35–46 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*43

## ЭМИССИИ ПРИ ПОЖАРАХ В НАСАЖДЕНИЯХ СРЕДНЕСИБИРСКОГО ПОДТАЕЖНО-ЛЕСОСТЕПНОГО РАЙОНА

В. А. Иванов<sup>1,2</sup>, Г. А. Иванова<sup>1</sup>, Е. О. Бакшеева<sup>2</sup>, Д. В. Шебеко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева 660037, Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», 31

E-mail: ivanovv53@yandex.ru, gaivanova@ksc.krasn.ru, morozovaelenabaksheeva@mail.ru, 2288401@bk.ru

Поступила в редакцию 11.04.2024 г.

Ежегодно на территории Среднесибирского подтаежно-лесостепного района возникают лесные пожары. За пятилетний период (с 2018 по 2022 г.) было зарегистрировано 1303 пожара на площади 87.5 тыс. га. В статье приведены расчеты эмиссии парниковых газов при пожарах в насаждениях лесного района за рассматриваемый период. Объем эмиссии при лесных пожарах определяется интенсивностью горения и метеоусловиями. По полученным данным о количестве сгорающих при пожаре лесных горючих материалов рассчитана масса парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), выделяющихся во время горения в зависимости от типа насаждения и метеоусловий, влияющих на высыхание горючих материалов с использованием общепринятых методик. Выявлено, что ежегодно при пожарах в насаждениях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района эмиссия парниковых газов составляет от 13.5 до 804 тыс. т. За рассматриваемый пятилетний период по расчетным данным выделилось при лесных пожарах более 1.2 млн т парниковых газов, с преобладанием CO–CO<sub>2</sub>. Наибольшая доля эмиссии при пожарах (более 95 %) приходится на весенний пожароопасный период. Изменчивость коэффициента самоочищения атмосферы существенно различается по периодам пожароопасного сезона. Выявлено, что благоприятные условия рассеивания эмиссий от лесных пожаров на территории Среднесибирского подтаежно-лесостепного района складываются в весенний период, когда регистрируется наибольшее число ветреных дней.

**Ключевые слова:** лесные пожары, пожароопасный период, лесные горючие материалы, пожарные эмиссии, парниковые газы, самоочищение атмосферы.

DOI: 10.15372/SJFS20240505

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема качества атмосферного воздуха является актуальной в связи с необходимостью обеспечения благоприятных условий проживания населения и сохранения экосистем. Влияние различных видов хозяйственной деятельности в освоенном регионе на окружающую среду – один из главных, но не единственный фактор, под воздействием которого формируется определенный уровень загрязнения атмосферы (Корнилов и др., 2005; Чендев, Петин, 2006). Немаловажное значение при этом имеют природные

факторы, главный из которых – способность атмосферы к самоочищению (Лебедева, Крымская, 2003).

Наиболее разрушительное воздействие на лесные экосистемы и атмосферу оказывают пожары, которые вызывают кратковременные выбросы углерода в атмосферу (Kasischke et al., 1995; Софронов и др., 2000). Суммарное количество эмиссий углерода от природных пожаров в бореальных лесах России и Северной Америки сопоставимо с антропогенными выбросами. При сгорании тонны сухих лесных горючих материалов образуется в среднем 2.36 т парни-

ковых газов (Amiro et al., 2001; Ле Дык Хуинь и др., 2013). При пожарах в таежных сосновых и лиственничных лесах Средней Сибири выделяется эмиссия углерода – от 2.3 до 15.8 т/га в зависимости от интенсивности пожара, при этом газовая эмиссия достигает 11.3–35.5 т/га (Иванова, Иванов, 2015).

В результате действия пожаров растительности возникает задымленность лесных территорий. Пожары, особенно длительные, значительно изменяют состав воздуха. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в области, оказавшейся под влиянием лесного пожара, могут превышать в несколько раз. При этом, по данным World Resources Institute (2024) и Global Forest Watch (2024), Россия является мировым лидером по потере лесного покрова (около 70 %), вызванной лесными пожарами. В начале августа 2010 г. вследствие лесных пожаров на значительной части Европейской территории России продолжительное время превышались как среднесуточные, так и максимальные разовые предельно допустимые концентрации, что привело, ухудшению состояния здоровья людей и экологической обстановки, и, как следствие, к повышению смертности среди населения. Повышенные концентрации загрязняющих веществ из-за выброса газообразных и дисперсных продуктов горения в атмосферу от лесных пожаров пагубно влияют не только на состояние здоровья людей и экологическую ситуацию в целом, но и на радиационные процессы в атмосфере, на процесс образования осадков и следовательно – на термодинамическое состояние атмосферы.

В связи с глобальным изменением климата особое внимание уделяется количественному содержанию парниковых газов в атмосфере. В соответствии с Указом Президента от 30.09.2013 № 752 «О сокращении выбросов парниковых газов» (2013) и Концепцией формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации (Распоряжение..., 2015) поставлена задача инвентаризации объема эмиссии парниковых газов во всех секторах экономики субъектов РФ. Лесная отрасль не стала исключением.

Целью нашего исследования стала оценка выбросов парниковых газов при лесных пожарах и самоочищения атмосферы в наиболее индустриально освоенном Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе с высокой плотностью населения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа горимости лесов Среднесибирского подтаежно-лесостепного района Красноярского края были использованы открытые данные о лесных пожарах за 2018–2022 гг., а также сведения о погоде по данным «ИСДМ-Рослесхоз» (Информационная система..., 2024) и литературные источники.

Массовый выброс парниковых газов можно определить с большей или меньшей точностью следующими методами: инструментальными, инструментально-лабораторными, индикаторными и расчетными. Для определения массового выброса парниковых газов мы применяли расчетный метод, основанный на использовании данных о составе лесных горючих материалов (ЛГМ), их запасах и характере пожара. Расчет объемов выбросов парниковых газов проводили по рекомендациям МГЭИК (Руководящие принципы..., 2006) и методике, утвержденной Приказом Минприроды России от 27.05.2022 № 371 (2022), которые устанавливают общие требования к расчету выбросов парниковых газов в атмосферу при неконтролируемом горении растительных горючих материалов при лесных пожарах разных видов (низовых, верховых и торфяных).

Оценку выбросов парниковых газов от пожара проводили по формуле

$$L_{\text{пожар}} = S \cdot M_{\text{сг}} \cdot K_{\text{эф}}, \quad (1)$$

где  $L_{\text{пожар}}$  – количество выбросов парниковых газов от пожара, т каждого парникового газа;  $S$  – площадь пожара, га;  $M_{\text{сг}}$  – масса ЛГМ, сгорающих при пожарах, кг/га;  $K_{\text{эф}}$  – коэффициент выбросов, г/кг сгораемого сухого ЛГМ.

Масса сгоревших при пожаре ЛГМ на каждом лесном участке, пройденном огнем, находится через запас ЛГМ до пожара и долю ЛГМ, сгорающих при пожаре, в зависимости от класса пожарной опасности по условиям погоды (2):

$$M_{\text{сг}} = M_{\text{дп}} \cdot C_{\text{низ/верх}}, \quad (2)$$

где  $M_{\text{сг}}$  – масса ЛГМ, сгорающих при пожаре, кг/га;  $M_{\text{дп}}$  – масса ЛГМ до пожара, кг/га;  $C_{\text{низ/верх}}$  – доля компонентов ЛГМ, сгорающая при низовом или верховом пожаре в зависимости от класса пожарной опасности по условиям погоды.

Класс пожарной опасности по условиям погоды показывает степень опасности возникнове-

**Таблица 1.** Запасы ЛГМ в насаждениях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района, т/га

Насаждение	Запасы ЛГМ
Сосняки разнотравные	15.42 ± 0.32
Ельники разнотравные	20.55 ± 1.74
Березняки разнотравные	20.55 ± 1.74

ния пожаров в зависимости от погодных факторов (температура воздуха и осадки), влияющих на наличие влаги в лесных горючих материалах: I класс – очень малая пожарная опасность, II – малая пожарная опасность, III – средняя пожарная опасность, IV – высокая пожарная опасность, V класс – чрезвычайная пожарная опасность (Национальный стандарт..., 2023).

При пожаре горят мхи и лишайники, опад с мелкими (до 7 мм) сухими веточками, подстилка, травы и кустарнички, хвоя подроста и хвоя деревьев полога древостоя. Для оценки запасов ЛГМ для лесостепных насаждений использованы опубликованные ранее данные (Курбатский, Иванова, 1987; Иванов и др., 2017; Буряк, 2022) (табл. 1).

До пожара средние запасы ЛГМ в насаждениях варьировали от 15 до 22 т/га. Количество сгорающих ЛГМ зависит от силы и формы пожара (беглый или устойчивый), погодных условий и периода пожароопасного сезона. Долю компонентов ЛГМ, сгорающих при пожарах, для насаждений определяли при осмотре пожарищ и на основе опубликованных данных (Иванова, Иванов, 2015; Popomarev et al., 2021).

Доля сгорающих ЛГМ при пожаре в зависимости от класса пожарной опасности по условиям погоды и пожароопасного периода приведена в табл. 2.

Мощность выброса вредных веществ рассчитывается по формуле

$$G = m_{ai} / T, \quad (3)$$

где  $G$  – мощность выброса, т/сут;  $T$  – время продолжительности горения лесного участка, сут;  $m_{ai}$  – полное значение выбросов парниковых газов за время горения, т.

Одним из показателей чистоты воздуха служит коэффициент Т. С. Селегей (Отчет..., 2014). Ю. П. Переведенцев (2012) предложил показатель повторяемости туманов, который использовался в формуле Т. С. Селегей, заменить на показатель повторяемости среднесуточной от-

**Таблица 2.** Доля сгорающих ЛГМ при лесных пожарах в зависимости от класса пожарной опасности по условиям погоды и пожароопасного периода

Класс пожарной опасности	Насаждения		
	сосняки	ельники	березняки
Весенний период (апрель – май)			
I	0.34	0.10	0.17
II	0.49	0.20	0.31
III	0.61	0.25	0.38
IV	0.67	0.35	0.45
V	0.71	0.43	0.52
Летний период (июнь – август)			
I	0.39	0.18	0.30
II	0.54	0.29	0.37
III	0.77	0.55	0.62
IV	0.83	0.59	0.73
V	0.90	0.70	0.83
Осенний период (сентябрь – октябрь)			
I	0.39	0.18	0.30
II	0.50	0.21	0.37
III	0.76	0.52	0.61
IV	0.84	0.55	0.72
V	0.84	0.67	0.72

носительной влажности воздуха  $\geq 80\%$ . Для оценки экологического состояния атмосферы мы использовали коэффициент самоочищения (Переведенцев, 2012), рассчитываемый по формуле

$$K_m = (P_{\text{сил}} + P_{\text{ос}}) / (P_{\text{сл}} + P_w \geq 80\%), \quad (4)$$

где  $K_m$  – коэффициент самоочищения атмосферы;  $P_{\text{сил}}$  – повторяемость скорости ветра  $\geq 6$  м/с;  $P_{\text{ос}}$  – повторяемость осадков  $\geq 0.5$  мм;  $P_{\text{сл}}$  – повторяемость слабого ветра (0–1 м/с);  $P_w$  – повторяемость среднесуточной относительной влажности  $\geq 80\%$ .

Количественная оценка метеорологических условий по критерию  $K_m$ :  $K_m < 0.8$  – неблагоприятные условия для рассеивания;  $0.8 \leq K_m \leq 1.2$  – ограниченно благоприятные условия рассеивания;  $K_m > 1.2$  – благоприятные условия самоочищения атмосферы;  $K_m > 1$  показывает, что повторяемость процессов, способствующих самоочищению атмосферы, преобладает над повторяемостью процессов, содействующих накоплению в ней вредных веществ (Крымская и др., 2016).

Метеорологические показатели по температуре и осадкам были проанализированные по метеостанциям Ачинск, Красноярск и Канск (Расписание погоды, 2024).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Территория Среднесибирского подтаежно-лесостепного района в границах Красноярского края составляет свыше 3 млн га и включает 15 лесничеств. Преобладают сосновые и березовые насаждения, но значительно представлены и еловые. Местность равнинная, средний класс природной пожарной опасности 2,8, степень нарушенности лесов средняя, плотность населения высокая и составляет от 2,6 до 8,66 чел./км<sup>2</sup> (Буряк, Котельников, 2023).

Несмотря на относительную однородность территории по природным условиям, горимость лесных участков района варьирует в широких пределах. За пятилетний период с 2018 по 2022 г. было зарегистрировано 1303 пожара на площади более 87,5 тыс. га (рис. 1).

Наибольшее количество и площадь пожаров зарегистрированы в 2022 г. – 489 пожаров на площади 57,7 тыс. га. Средняя площадь одного пожара за пятилетие составила 67 га, с колебаниями от 9,3 га в 2021 г. до 233 га в 2022 г. На территории лесного района за 2018–2022 гг. пройдено низовыми пожарами 98 % лесной площади. Верховые пожары зарегистрированы весной 2022 г. в сосновых насаждениях на площади 2,2 тыс. га. Фактическая продолжительность пожароопасного сезона по годам варьировала от 103 дней в 2018 г. до 197 дней в 2021 г.

Анализ сезонного распределения количества и площади пожаров выявил, что первые пожары возникали в начале апреля. Наиболее напряженным в пожарном отношении был май (рис. 2).

Пройденная пожарами площадь в весенний период составляет до 95 % от общей площади всех пожаров. В весенне-осенний период по-

жары имели беглую форму, а в летний период – устойчивую. Преобладали пожары слабой силы.

Распределение площади пожаров в насаждениях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района по годам приведено в табл. 3. К наиболее горимым относятся сосновые и березовые насаждения, соответственно 58,9 и 35 % от общей площади, пройденной пожарами. На территории района преобладают насаждения с травяным напочвенным покровом.

Количество и состав пожарных эмиссий зависят от типа леса, количества сгоревших горючих материалов, вида и формы пожара, метеорологических условий и режимов горения (Иванов, Макаров, 2002; Куценогий и др., 2003; Samsonov et al., 2005).

На полноту сгорания лесных горючих материалов оказывает влияние множество факторов, но преобладающим является их влагосодержание, которое определяется погодными условиями (Курбатский, 1970). Также на полноту сгорания ЛГМ влияет и период пожароопасного сезона. В весенний период (апрель–май), после схода снега, верхний слой опада быстро достигает состояния пожарной зрелости, но при этом подстилка может находиться в замерзшем состоянии или быть пропитанной растаявшим снегом и влажной. В летний период (июнь–август) наблюдается минимальное влагосодержание опада и подстилки, а осенью (сентябрь–октябрь) их влагосодержание возрастает вследствие частых дождей.

По мнению Н. С. Смирнова с соавт. (2015; Smirnov et al., 2015), расчет выбросов пожарных эмиссий (черного углерода) должен проводиться на постоянной основе с пространственной и сезонной детализацией, т. е. при расчете

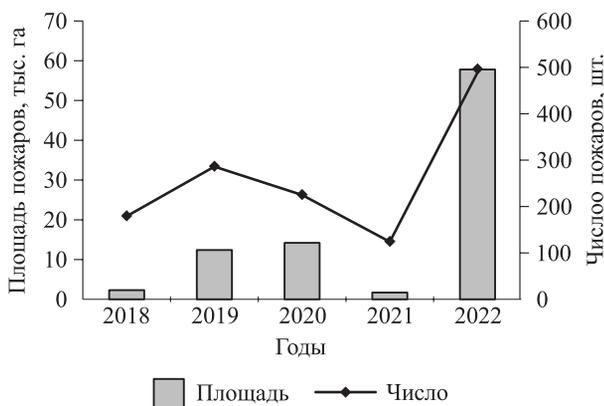


Рис. 1. Горимость лесов Среднесибирского подтаежно-лесостепного района за 2018–2022 гг.

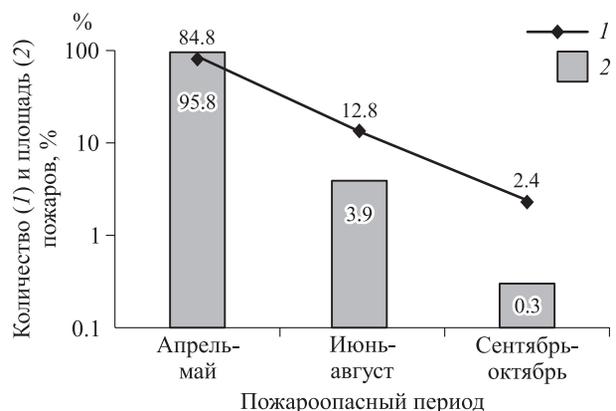


Рис. 2. Сезонная горимость лесов Среднесибирского подтаежно-лесостепного района за 2018–2022 гг.

**Таблица 3.** Распределение ежегодной площади пожаров (га) в насаждениях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района

Насаждения	Год					Всего
	2018	2019	2020	2021	2022	
Сосновые	981.5	8446.9	8042.2	410.3	33 764.6	51 645.5
Еловые	24.8	107.4	30.8	10.5	763.0	936.5
Березовые	1250.1	3777.8	5923.2	781.8	23 237.4	34 970.3
Итого ...	2 256.4	12 332.1	13 996.2	1202.6	57 765.0	87 552.3

**Таблица 4.** Сезонное распределение площади пожаров (га) по классам пожарной опасности и периодам пожароопасного сезона

Пожароопасный период	Класс пожарной опасности по условиям погоды					Всего
	I	II	III	IV	V	
Сосновые насаждения						
Весенний	2580	2989	37 885.9	5000	–	48 454.9
Летний	110.6	389.9	892.9	1692.6	–	3086
Осенний	8.9	1.4	60.4	33.9	–	104.6
Итого ...	2699.5	3380.3	38 839.2	6726.5	–	51 645.5
Березовые насаждения						
Весенний	5729.6	7841.4	16 695.4	4281.5	–	34 547.9
Летний	16.5	128.6	124.1	63.6	16	348.8
Осенний	20	–	53.6	–	–	73.6
Итого ...	5766.1	7970	16 873.1	4345.1	16	34 970.3
Еловые насаждения						
Весенний	1	51.4	796	40.2	–	888.6
Летний	–	21.9	20	6	–	47.9
Осенний	–	–	–	–	–	–
Итого ...	1	73.3	816	46.2	–	936.5
Все насаждения						
Весенний	8310.6	10 881.8	55 377.3	9321.7	–	83 891.4
Летний	127.1	540.4	1037	1762.2	16	3482.7
Осенний	28.9	1.4	114	33.9	–	178.2
Всего ...	8466.6	11 423.6	56 528.3	11 117.8	16	87 552.3

пожарных эмиссий необходимо учитывать пожароопасный период и погодные условия, предшествующие пожару.

В табл. 4 приведено распределение площади пожаров по периодам пожароопасного сезона и классам пожарной опасности по условиям погоды в насаждениях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района за 2018–2022 гг. Наибольшее количество пожаров зарегистрировано при III–IV классах пожарной опасности, когда опад и верхний слой подстилки достигают состояния пожарной зрелости. Пройденная пожарами площадь при этом превышала 67.6 тыс. га, или 77 % от площади всех пожаров за рассматриваемый период.

Расчетное количество сгоревших ЛГМ при пожарах в насаждениях Среднесибирского под-

таежно-лесостепного района 2018–2022 гг. в зависимости от класса пожарной опасности по условиям погоды и площади пожаров приведено в табл. 5.

Доля сгорающих ЛГМ, которую мы использовали для расчета выбросов эмиссий при пожарах, определена на основе наших экспериментальных данных: 1.1–9.7 т/га при слабом, 8.6–21.5 т/га при среднем и более 21.5 т/га при сильном пожаре (Иванова, Иванов, 2015), что также согласуется с литературными данными (Ponomarev et al., 2021).

Количество сгоревших ЛГМ при пожарах за пятилетний период – более 674.3 тыс. т. Наибольшая доля сгоревших ЛГМ приходится на весенний период – более 643.6 тыс. т, как и наибольшая площадь, пройденная пожарами.

Таблица 5. Количество сгоревших ЛГМ при лесных пожарах за период 2018–2022 гг., т

Год	Класс пожарной опасности по условиям погоды					Всего
	I	II	III	IV	V	
Весенний период						
2018	837	4152	2674.7	–	–	7663.7
2019	566.6	14 586	64 383.9	3228.3	–	82 764.8
2020	342.5	5432.8	64 720.3	46 156	–	116 651.6
2021	799.6	2137	2874.4	–	–	5811
2022	27 775	37 483	33 0140	35 365	–	430 763
Итого...	30 320.7	63 790.8	464 793.3	84 749.3	–	643 654.1
Летний период						
2018	1319.6	6012.9	3504.8	1218.7	–	12 056
2019	685.3	2864.7	2780.3	1806.3	27.7	8164.3
2020	–	18.9	343.2	253.5	–	615.6
2021	–	465.1	1288.1	–	–	1753.2
2022	41	61.7	6183.3	–	–	6286
Итого...	2045.9	9423.3	14 099.7	3278.5	27.7	28 875.1
Осенний период						
2018	101	10.7	457	–	–	568.7
2019	–	–	786.6	–	–	786.6
2020	–	–	–	–	–	–
2021	53.4	–	7	437.6	–	498
2022	–	–	–	–	–	–
Итого...	154.4	10.7	1250.6	437.6	–	1853.3
Всего...	32 521	73 224.8	480 143.6	88 465.4	27.7	674 382.5

**Оценка эмиссий парниковых газов при пожарах.** За рассматриваемый период 2018–2022 гг. выброс эмиссии парниковых газов от лесных пожаров составил 1224 тыс. т (табл. 6).

Максимальный объем эмиссии (804.8 тыс. т) был в 2022 г., а минимальный (13.5 тыс. т) – в 2021 г. (табл. 7). При этом газы CO<sub>2</sub>–CO составляли за пятилетие 1218 тыс. т, или более 99 % от всех выбросов. В среднем эмиссия парниковых газов от лесных низовых пожаров за рассматриваемый период варьировала по годам от 11.28 до 14.63 т/га. Выброс эмиссии парниковых газов в весенний период составил 13.7 т/га, в летний – 19.5 т/га, а в осенний – 17.4 т/га, что близко к оценкам эмиссии от пожаров, которые для Сибири составляют в среднем от 16 до 18 т/га (Ponomarev et al., 2021).

Выброс эмиссии при лесных низовых пожарах в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе значительно меньше, чем при пожарах в Нижнеангарском таежном районе, где они варьируют от 21.0 до 31.4 т/га (Иванов и др., 2021). Это связано с тем, что на территории рассматриваемого района преобладают лесные пожары в весенний период, когда происходит медленное оттаивание и высыхание напочвенных ЛГМ.

По данным М. С. Смирнова (2015; Smirnov et al., 2015), среднегодовой выброс черного углерода (сажи) с 1 га пройденной пожарами площади составил  $10.2 \pm 1.2$  кг. По нашим расчетам, среднегодовой выброс сажи был около 4.82 кг/га, что в 2 раза ниже. Разница в оценке выбросов черного углерода, по нашему мнению, связана с тем, что мы учитывали только массу ЛГМ, которая, с большой вероятностью, сгорела при пожарах, а не всю массу ЛГМ в насаждении.

Выбросы эмиссии парниковых газов отличаются значительной сезонной и годовой изменчивостью, связанной с вариацией общей площади пожаров и погодных условий. Объемы эмиссий от пожаров в отдельные годы могут превышать минимальные значения более чем в 33 раза. Например, эмиссии при пожарах в 2018 г. составили 23.4 тыс. т, а в 2022 г. – 804.6 тыс. т.

Наибольшая продолжительность действия лесных пожаров зарегистрирована в 2018 г. (99 дней), а наименьшая – в 2021 г. (49 дней). В среднем дымовая эмиссия во время действия пожаров в 2018 г. составила в сутки 276.8 т, 2019 г. – 1880.4 т, 2020 г. – 3468.6 т, 2021 г. – 276.8 т, 2022 г. – 12575.9 т.

На территории района расположено свыше 500 населенных пунктов. Пожары в 65 % случаев

**Таблица 6.** Эмиссии парниковых газов при лесных пожарах по годам и периодам пожароопасного сезона

Год	Выбросы парниковых газов и сажи, т						
	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NOx	Сажа	Всего
Весенний период							
2018	12 024.34	820.01	36.02	1.99	22.99	4.29	12 909.64
2019	129 701.10	8845.13	388.52	21.49	247.99	46.29	139 250.52
2020	183 183.41	12 492.43	548.21	30.35	350.25	66.48	196 671.13
2021	9117.61	621.78	27.31	1.51	17.43	3.25	9788.89
2022	739 788.20	50 450.8	2216.06	122.59	1414.5	278.18	794 270.33
Итого ...	107 814.66	7330.15	3216.12	177.93	2053.16	398.49	115 290.51
Летний период							
2018	12 585.7	858.30	37.70	2.08	24.06	4.49	13 512.33
2019	37 202.87	2537.09	111.44	6.16	71.13	13.27	39 941.96
2020	965.87	65.86	2.89	0.16	1.84	0.34	1036.96
2021	2750.45	187.57	8.23	0.45	5.25	0.98	2952.93
2022	9862.73	672.60	29.54	1.63	18.85	3.52	10 588.87
Итого ...	63 367.62	4321.42	189.80	10.48	121.13	22.60	68 033.05
Осенний период							
2018	892.3	60.85	2.67	0.15	1.70	0.33	958
2019	1234.17	84.16	3.69	0.20	2.35	0.44	1325.01
2020	–	–	–	–	–	–	–
2021	767.24	52.32	2.29	0.12	1.46	0.27	823.70
2022	–	–	–	–	–	–	–
Итого ...	2893.71	197.33	8.65	0.47	5.51	1.04	3106.71
Пожароопасный сезон							
2018	25 502.34	1739.16	76.39	4.22	48.75	9.11	27 379.97
2019	168 138.14	11 466.38	503.65	27.85	321.47	60.0	180 517.49
2020	184 149.28	12 558.29	551.1	30.51	352.09	66.82	197 708.09
2021	12 635.3	861.67	37.83	2.08	24.14	4.5	13 565.52
2022	749 650.93	51 123.4	2245.6	124.22	1433.35	281.7	804 859.20
Всего ...	1140 075.99	77 748.90	3414.57	188.88	2179.80	422.13	122 4030.27

**Таблица 7.** Удельная эмиссия парниковых газов при лесных пожарах в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе

Год	Площадь, пройденная пожарами, га	Эмиссия			
		парниковых газов, т	удельная газов, т/га	сажи, т	удельная сажи, кг/га
2018	2256.4	27 370.86	12.13	9.11	4.04
2019	12 332.1	180 457.49	14.63	60.0	4.86
2020	13 996.2	197 641.27	14.12	66.82	4.77
2021	1202.6	13 561.02	11.28	4.5	3.74
2022	57 765	804 577.5	13.93	281.7	4.88
Всего ...	87 552.3	1223 608.14	13.98	422.13	4.82

регистрируются на расстоянии от 0.1 до 5 км от населенного пункта. Экологическое состояние атмосферы для данного района очень актуально. Количественная оценка метеорологических условий по коэффициенту самоочищения атмосферы по трем метеостанциям, расположенным в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе, за период 2018–2022 гг. приведена в табл. 8.

Анализ изменения коэффициента самоочищения по пожароопасным периодам позволяет выявить сезонные особенности накопления и рассеивания пожарных эмиссий. В западной части Среднесибирского подтаежно-лесостепного района (м/с Ачинск) и в восточной части лесного района (м/с Канск) с 2018 по 2022 г. наблюдались благоприятные условия для их рассеивания

**Таблица 8.** Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы на территории Среднесибирского подтаежно-лесостепного района за 2018–2022 гг.

Год	Пожароопасный период			Среднее значение за пожароопасный сезон
	весенний	летний	осенний	
М/с Ачинск				
2018	2.1	0.4	0.74	0.98
2019	2.4	1.25	1.09	1.48
2020	2.6	0.9	1.23	1.48
2021	3.12	0.7	1.47	1.61
2022	4.27	1.13	1.01	1.83
М/с Красноярск (Опытное поле)				
2018	1.1	0.42	0.40	0.60
2019	0.78	0.42	0.69	0.60
2020	-	0.46	0.42	0.44
2021	1.29	0.50	0.30	0.66
2022	1.12	2,50	0.99	1.67
М/с Канск				
2018	4.2	0.68	0.88	1.74
2019	4.7	1.06	1.39	2.20
2020	2.1	1.03	2.20	1.69
2021	3,0	0,59	0.93	1.37
2022	1.75	1.22	1.26	1.38

( $K_m \geq 1.2$ ) в наиболее пожароопасный весенний период. Ограниченно благоприятные и благоприятные условия для их рассеивания наблюдались в этих районах в отдельные годы и в летний и осенний периоды. В центральной части лесного района (м/с Опытное поле, Красноярск) только в весенний период регистрировались ограниченно благоприятные условия рассеивания, а в остальные периоды пожароопасного сезона погодные условия не способствовали очищению атмосферы ( $K_m < 0.8$ ), исключение составил летний период 2022 г. ( $K_m \geq 2.5$ ).

Вариабельность среднего значения коэффициента самоочищения за пожароопасный сезон находится в интервале 0.44–2.2. Максимальная изменчивость среднегодовых значений коэффициента самоочищения зафиксирована в восточной части лесного района ( $K_m = 2.2$ ), минимальная – в центральной части ( $K_m = 0.44$ ). Наибольшая повторяемость скоростей ветра  $\geq 6$  м/с и наименьшая повторяемость среднесуточной относительной влажности воздуха наблюдались в весенний период, что благоприятно повлияло на процессы самоочищения атмосферы в этот период. Подобные различия обусловлены рельефом местности, лесорастительными

условиями и территориальными различиями в повторяемости элементов циркуляции атмосферы (Лебедева, Крымская, 2010).

В ряде научных работ содержится предположение, что при природных пожарах аэрозольные частицы, включающие черный углерод, могут переноситься конвективными потоками до высот нижней стратосферы и распространяться на сотни и тысячи километров. Достигая льдов Арктики, они изменяют их альбедо и ускоряют таяние льдов (Вивчар и др., 2010; Vivchar et al., 2010; Смирнов и др., 2015; Кузнецов и др., 2023).

В районе исследования в весенний период преобладают лесные пожары слабой силы, беглые. При них происходит кромочное горение шириной от 0.3 до 2 м. Конвективная колонка от пожаров слабой силы поднимается на высоту, не превышающую 300–400 м. При этом перед фронтом пожара образуется нисходящий поток воздуха, который прижимает дымовой шлейф к поверхности земли и не дает распространяться на большие расстояния. Поэтому сомнительно, что частицы от пожаров в данном лесном районе могут достигать льдов Арктики.

В более северных районах, где накопились большие запасы ЛГМ из-за редкой повторяемости пожаров – межпожарный интервал варьирует от 31.1 до 64.4 года (Иванова, Иванов, 2015), лесные пожары распространяются на огромные площади. При горении образуются конвективные колонки, высота которых может достигать нескольких километров, и дым от пожаров распространяется на значительные расстояния и могут достигать Арктику.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наши расчеты показали, что на территории Среднесибирского подтаежно-лесостепного района выбросы эмиссии парниковых газов от лесных пожаров в 2018–2022 гг. составили более 1223 тыс. т. Наибольший объем выбросов (94 %) приходится на весенний пожароопасный период. В среднем за 2018–2022 гг. эмиссии от пожаров на территории Среднесибирского подтаежно-лесостепного района составили 14 т/га, что значительно ниже, чем в Нижнеангарском таежном лесном районе, где объем эмиссии при низовых пожарах составляет по расчетным данным (Иванов и др., 2021) в среднем 26.1 т/га. Это объясняется тем, что на его территории преобладают лесные пожары в летний период, при благоприятных погодных условиях и происходит быстрое высыхание лес-

ных горючих материалов. При выполнении расчетного мониторинга пожарных эмиссий важно рассматривать количество возможного сгорания ЛГМ по периодам пожароопасного сезона и с учетом погодных условий во время возникновения и развития лесных пожаров.

Коэффициент самоочищения атмосферы существенно изменяется по территории и по периодам пожароопасного сезона. Наиболее неблагоприятные условия самоочищения атмосферы формируются в течение всего пожароопасного сезона в центральной части лесного района, где наблюдается значительная концентрация населения и промышленных объектов, что требует увеличения эффективности охраны лесов от пожаров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буряк Л. В. Зонально-географические особенности воздействия пожаров на лесообразование светлохвойных насаждений юга Сибири. Новосибирск: Наука, 2022. 284 с.
- Буряк Л. В., Котельников Р. В. Краткий справочник эколого-географических и лесопирологических особенностей лесных районов. Пушкино: ВНИИЛМ, 2023. 87 с.
- Вивчар А. В., Моисеенко К. Б., Панкратова Н. В. Оценка эмиссии оксида углерода от природных пожаров в Северной Евразии в приложении к задачам регионального атмосферного переноса и климата // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. № 3. С. 307–320.
- Иванов В. А., Иванова Г. А., Москальченко С. А., Коршунов Н. А. Лесные горючие материалы и пожароопасность насаждений Сибири: Справ. учеб. Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2017. 93 с.
- Иванов В. А., Иванова Г. А., Бакишеева Е. О., Морозов А. С. Оценка эмиссии парниковых газов при пожарах в светлохвойных лесах Нижнего Приангарья // Сиб. лесн. журн. 2021. № 6. С. 3–17.
- Иванов А. В., Макаров В. И. Оценка объема эмиссий при сгорании некоторых видов лесных горючих материалов // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15. № 5–6. С. 488–490.
- Иванова Г. А., Иванов А. В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.
- Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Пушкино, 2024. [https://public.aviales.ru/main\\_pages/public.shtml](https://public.aviales.ru/main_pages/public.shtml)
- Корнилов А. Г., Петин А. Н., Назаренко Н. В. Проблемы экологической безопасности Белгородской области и управления рациональным природопользованием // Пробл. регион. экол. 2005. № 6. С. 38–52.
- Крымская О. В., Лебедева М. Г., Бузакова И. В., Сторожилова Е. Ю. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферного воздуха в Белгородской области // Науч. вед. Сер. Естеств. науки. 2016. № 4 (225). Вып. 34. С. 124–129.
- Кузнецов Л. Е., Залесов С. В., Кректунов А. А., Секе-рин И. М. Оценка влияния лесных пожаров на качество воздуха в границах города Тюмени // Междунар. науч.-иссл. журн. 2023. Вып. № 8 (134). Статья 78.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии: Сб. науч. тр. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Курбатский Н. П., Иванова Г. А. Пожароопасность сосняков лесостепи и пути ее снижения. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1987. 112 с.
- Куценогий К. П., Самсонов Ю. Н., Чуркина Т. В., Иванов А. В., Иванов В. А. Содержание микроэлементов в аэрозольной эмиссии при пожарах в бореальных лесах Центральной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2003. Т. 16. № 5–6. С. 461–465.
- Лебедева М. Г., Крымская О. В. Экология региона. Ч. 1. Качество атмосферного воздуха в городах Центрально-Черноземного региона. Белгород: Политерра, 2003. 74 с.
- Лебедева М. Г., Крымская О. В. Оценка химической активности атмосферы в промышленных центрах Белгородской области // Науч. вед. БелГУ. Естеств. науки. 2010. Т. 10. № 3. С. 117–122.
- Ле Дык Хуинь, Нгуен Тхи Тху Ха, Смирнов А. П. Эмиссия углерода от лесных пожаров 2002 г. в национальном парке «У Минь Тхьюнг» на юге Вьетнама // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 12. С. 28–32.
- Национальный стандарт Российской Федерации. Охрана лесов от пожаров. Термины и определения. М.: Рос. ин-т стандарт., 2023. 27 с.
- Переведенцев Ю. П., Хабутдинов Ю. Г. Метеорологический потенциал самоочищения и качество атмосферного воздуха в Казани в последние десятилетия // Вестн. Удмурт. гос. ун-та. 2012. № 3. С. 23–28.
- Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов». М.: Мин-во природ. ресурсов и экол. РФ, 2022.
- Расписание погоды, 2024. <https://rp5.ru/>
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22.04.2015 № 716-р «Об утверждении Концепции формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации». М.: Правительство РФ, 2015. 12 с.
- Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. Т. 4. Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. М.: МГЭИК, 2006.
- Отчет о научно-исследовательской работе по теме 1.4.3.15 «Разработать усовершенствованный комплексный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы (на примере территории Западной Сибири)» (заключительный) / Рук. темы к. г. н. Т. С. Селегей. Новосибирск: СибНИГМИ, 2014. 131 с.
- Смирнов Н. С., Коротков В. Н., Романовская А. А. Выбросы черного углерода от природных пожаров на землях лесного фонда Российской Федерации в 2007–2012 гг. // Метеорол. и гидрол. 2015. № 7. С. 5–17.
- Софронов М. А., Швиденко А. З., Голдаммер И. Г., Волокитина А. В. Влияние пожаров на баланс углерода в бореальной зоне Северной Евразии: создание инфор-

- мационной базы для моделей // Лесоведение. 2000. № 4. С. 3–8.
- Указ Президента Российской Федерации от 30.09.2013 № 752 «О сокращении выбросов парниковых газов». М.: Канцелярия Президента РФ, 2013. 1 с.
- Чендев Ю. Г., Петин А. Н. Естественные изменения и техногенная трансформация компонентов окружающей среды староосвоенных регионов (на примере Белгородской области). М.: Изд-во МГУ, 2006. 123 с.
- Amiro B. D., Todd J. B., Wotton B. M., Logan K. A., Flannigan M. D., Stocks B. J., Mason J. A., Martell D. L., Hirsch K. G. Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959–1999 // Can. J. For. Res. 2001. V. 31. N. 3. P. 512–525.
- Global forest watch, 2024. <http://www.globalforestwatch.org/>
- Kasischke E. S., Christensen N. L., Stocks B. J. Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests // Ecol. Appl. 1995. V. 5. Iss. 2. P. 437–451.
- Ponomarev E., Yakimov N., Ponomareva T., Yakubailik O., Conard S. G. Current trend of carbon emissions from wildfires in Siberia // Atmosphere. 2021. V. 12. Iss. 5. Article 559.
- Samsonov Yu. N., Koutsenogii K. P., Makarov V. I., Ivanov A. V., Ivanov V. A., McRae D. J., Conard S. G., Baker S. P., Ivanova G. A. Particulate emissions from fires in central Siberian Scots pine forests // Can. J. For. Res. 2005. V. 35. N. 9. P. 2207–2217.
- Smirnov N. S., Korotkov V. N., Romanovskaya A. A. Black carbon emissions from wildfires on forest lands of the Russian Federation in 2007–2012 // Rus. Meteorol. Hydrol. 2015. V. 40. P. 435–442 (Original Rus. Text © N. S. Smirnov, V. N. Korotkov, A. A. Romanovskaya, 2015, publ. in Meteorologiya i Gidrologiya. 2015. N. 7. P. 5–17).
- Vivchar A. V., Moiseenko K. B., Pankratova N. V. Estimates of carbon monoxide emissions from wildfires in northern Eurasia for air quality assessment and climate modeling // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2010. V. 46. N. 3. P. 281–293 (Original Rus. Text © A. V. Vivchar, K. B. Moiseenko, N. V. Pankratova, 2010, publ. in Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana. 2010. V. 46. N. 3. P. 307–320).
- World Resources Institute, 2024. <http://www.wri.org/>

## EMISSIONS FROM FIRES IN THE STANDS OF CENTRAL SIBERIAN SUBTAIGA-FOREST-STEPPE REGION

V. A. Ivanov<sup>1,2</sup>, G. A. Ivanova<sup>1</sup>, E. O. Baksheeva<sup>2</sup>, D. V. Shebeko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

<sup>2</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Prospekt imeni gazety «Krasnoyarskiy rabochiy», 31, Krasnoyarsk, 660037 Russian Federation

E-mail: [ivanovv53@yandex.ru](mailto:ivanovv53@yandex.ru), [gaivanova@ksc.krasn.ru](mailto:gaivanova@ksc.krasn.ru), [morozovaelenabaksheeva@mail.ru](mailto:morozovaelenabaksheeva@mail.ru), [2288401@bk.ru](mailto:2288401@bk.ru)

Forest fires occur annually on the territory of the Central Siberian subtaiga-forest-steppe region. During the five-year period from 2018 to 2022, 1303 fires were registered. The areas covered by forest fires during this period amounted to 87.5 thousand hectares. The article presents calculations of greenhouse gas emissions from fires in forest area plantations for the period under review. The volume of emissions from forest fires is determined by the intensity of burning and weather conditions. Using the data obtained on the amount of combustible forest materials burned in a fire, the mass of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) released during combustion was calculated, depending on the type of planting and weather conditions affecting the drying of combustible materials using generally accepted methods. It was revealed that greenhouse gas emissions range from 13.5 thousand tons to 804 thousand tons annually during fires in plantations of the Central Siberian subtaiga-forest-steppe region. Over the five-year period under review, according to estimates, more than 1.2 million tons were released during forest fires. greenhouse gases, with a predominance of CO–CO<sub>2</sub>. The largest share of emissions from fires (more than 95 %) falls on the spring fire season. The variability of the self-purification coefficient of the atmosphere varies significantly by periods of the fire season. It was revealed that favorable conditions for the dispersion of emissions from forest fires in the territory of the Central Siberian subtaiga-forest-steppe region develop in the spring period, when the largest number of windy days is recorded.

**Keywords:** forest fires, fire-hazardous period, forest combustible materials, fire emissions, greenhouse gases, self-purification of the atmosphere.

**How to cite:** Ivanov V. A., Ivanova G. A., Baksheeva E. O., Shebeko D. V. Emissions from fires in the stands of Central Siberian subtaiga-forest-steppe region // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 47–56 (in Russian with English abstract and references).

УДК 56:581.524.3:551.796:581.48

## ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ КОТУЙ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

В. Л. Кошкарлова, А. Д. Кошкарлов

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
Академгородок, 50/28, Красноярск, 660036 Российская Федерация

E-mail: koshkarova.vl@ksc.krasn.ru, koshkarov.al@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 20.06.2023 г.

В статье освещены результаты палеоботанического изучения торфяных отложений в бассейне среднего течения р. Котуй (Северная Эвенкия). Базовым материалом для исследования стали макроостатки ископаемых растений. На основании изменения видового состава ископаемых объектов и радиоуглеродного датирования по  $^{14}\text{C}$  реконструирована динамика фитоценотической структуры лесных формаций за последние 6000 календарных лет. Дана количественная оценка их климатической обусловленности. В начале рассматриваемого времени в результате потепления и повышения влажности увеличивается биоразнообразие растительного покрова и формируется формация бореальных смешанных лесов с елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). С нарастанием континентальности и похолодания климата биоразнообразие падает, а доминирующей формацией становится редкостойная лиственничная с лиственницей Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.). Установлена динамика границ ареалов лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), л. Гмелина и кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.) на рубеже климатического оптимума и в позднем голоцене.

**Ключевые слова:** реконструкция растительности, макроостатки растений, климат, голоцен, геохронология, Северная Эвенкия.

DOI: 10.15372/SJFS20240506

### ВВЕДЕНИЕ

Северные территории Сибири в последнее время подвергаются интенсивному освоению природных ресурсов, что приводит к деструкции природных экосистем. Повышенной уязвимостью страдают лесные экосистемы с недостаточной сомкнутостью растительного покрова, расположенные в криогенной зоне. Многочисленный палеоботанический материал, имеющий наибольшее радиоуглеродное подтверждение и обобщенный в работах Н. В. Кинд (1974), Н. А. Хотинского (1977), Палеоклиматы ... (2009), Р. А. Groisman и соавт. (2013) и других, уже доказал, что растительность северных широт всегда быстрее реагировала в историческом прошлом на изменения климатического и экологического режимов, чем растительность южных широт. На основании главным образом

спорново-пыльцевых данных малого таксономического разрешения были установлены неоднократные миграции растительных зон в результате климатических флуктуаций без детализации морфоструктуры растительного покрова внутри них. Поэтому именно по изменению структуры лесных формаций северных территорий за последние тысячелетия надежнее строить научный прогноз для решения вопросов рационального природопользования. Необходимо подчеркнуть, что реконструкция лесного покрова регионального уровня, основанная на современных местных связях климат – растительность исследована слабо и нуждается в углубленном изучении. Этого требует и оценка риска деградации отдельных видов лесообразователей и видов-доминантов нижних ярусов леса. Голоцен, по предложению международной Подкомиссии по четвертичной стратиграфии, начался примерно 11 650 кален-

дарных лет назад, или 9700 лет до нашей эры (Тесаков, 2015; Tesakov, 2015), и является одной из более-менее разработанных общих моделей для расшифровки закономерностей естественного развития лесных экосистем прошлого, но требующей корректирующих данных регионального уровня (Mayewski et al., 2004; Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2014).

Цель работы – реконструировать естественную многовековую динамику биоразнообразия и фитоценотическую структуру растительного покрова в среднем течении р. Котуй по данным палеокарпологии (ископаемые плоды, семена и другие макроостатки растений).

Для ее выполнения решались следующие задачи:

- провести видовую идентификацию ископаемых объектов и дифференциацию по эколого-ценотическим группам согласно экологической приуроченности их материнских растений;
- установить видовую структуру палеофитоценозов с выявлением эдикаторов и доминантов сопутствующих им эколого-ценотических групп травяно-кустарничкового яруса по формам рельефа и временным отрезкам с учетом данных радиоуглеродного датирования;

– выявить динамику доминирующих типов растительности для каждой тестовой точки и определить количественные показатели климатических условий по временным периодам.

В результате исследований выявленная последовательность многовековых смен эколого-ценотических групп типов растительности как показатель изменения общего климата станет базовой информацией для более точного определения тенденций развития эколого-фитоценотического разнообразия конкретных типов растительности в северо-восточной части Эвенкии при разных вариациях климата и антропогенного прессинга.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представленные в работе данные являются итогом изучения части голоценового палеоботанического материала, отобранного во время дендрохронологической российско-швейцарской экспедиции (Кошкарлова и др., 1997), изучение которого было отложено (из-за большого объема основного) и проведено в 2020 г. в связи с выполнением проекта по развитию растительного покрова Эвенкии, поддержанного грантом РФФИ № 18-04-01068.

Объектами исследования были образцы из двух шурфов, заложенных в естественных береговых обнажениях, вскрывающих мерзлые торфяные отложения, расположенные в среднем течении р. Котуй (68°27' с. ш., 103°31' в. д.) и оз. Чиринда (67°46' с. ш., 100°27' в. д.). Эта территория, согласно лесорастительному районированию И. А. Короткова (1994), относится к Норильско-Хантайской Путоранской горной области северотаяжных редкостойных лесов и горных тундр. Растительность в точках исследования очень сходна. Она представлена лиственничниками одного типа – редкостойный (полнота 0.2) зеленомошно-кустарничковый из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.). Приурочены они к торфяно-глеевым почвам и к поверхностям с ярко выраженным бугристым микрорельефом, с чем и связана сильная мозаичность напочвенного покрова. Древостои в целом угнетены. На кочках высотой не более 0.5 м группируются куртинки гипоарктических кустарников и кустарничков – багульник болотный (*Ledum palustre* L.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.), ива мохнатая (*Salix lanata* L.), береза тощая (*Betula exilis* Sukaczew), водяника черная (*Empetrum nigrum* L.), единично встречается арктоус альпийский (*Arctous alpina* (L.) Nied.). Из травянистых растений присутствуют в небольшом количестве пушица влагалищная (*Eryophorum vaginatum* L.), лютик ползучий (*Ranunculus repens* L.), спорыш птичий (*Polygonum aviculare* L.), грушанка мясо-красная (*Pyrola incarnata* (DC.) Freyn). В напочвенном покрове преобладают мхи аулакомниума (*Aulacomnium* Schwägr.).

Современные многолетние климатические показатели для района исследования по ближайшей к нему метеостанции Ессей, следующие: средняя январская температура опускается до -37 °С, средняя июльская составляет 13.3 °С, среднегодовое количество осадков равно 342 мм (Справочник..., 1966–1969).

В представленной работе основным методом исследования был палеокарпологический с использованием данных геохронологии и доминантной основы ботанического состава торфа, подтверждающих возраст и стратиграфическое построение. Образцы отбирались без перерывов каждые 5 см с учетом стратиграфии разреза (объемом 3000 см<sup>3</sup>). Для каждого изученного разреза были выполнены радиоуглеродные определения, возраст которых скорректирован с использованием программы CALIB HTML версии 8.2 Stuiver and Reimer, 1986–2020 (Reimer et al., 2020) (табл. 1).

**Таблица 1.** Радиоуглеродные даты, полученные для среднего течения р. Котуй (Эвенкия)

Глубина, см	Номер образца	Отобранный материал	Радиоуглеродный возраст <sup>14</sup> C, лет назад	Отклонение	Калиброванный возраст, н. э./до н. э.	Апостериорная вероятность распределения
<i>р. Котуй</i>						
12	СОАН 3110	Торф	1920	30	1835	
20	СОАН 3106	»	2490	45	2557	
35	СОАН 3105	Древесина	4990	65	5725	
<i>Оз. Чиринда</i>						
30	КРИЛ-38	Торф	2410	80	2488	
40	КРИЛ-37	Древесина	4650	85	5385	

*Примечание.* Радиоуглеродные датировки выполнены в Институте геологии и минералогии им В. С. Соболева СО РАН к. г.-м. н. Л. А. Орловой и в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН сотрудниками группы радиоуглеродного анализа Э. В. Стариковым и В. А. Жидовленко (1981).

Но для точности корреляционного анализа, полученного палеокарпологического с литературным оригинальным палеоботаническим материалом (не имеющим калиброванного значения радиоуглеродного возраста), приводимые в тексте даты по <sup>14</sup>C мы оставили некалиброванными (они соответствуют возрасту за 1000 лет до 1950 г.).

Хотя базовым материалом палеокарпологии являются плоды, семена и мегаспоры, объединяемые под названием карпоиды, но мы учитывали и определяли другие макроостатки, например укороченные побеги, почки, хвою, мелкие листочки берез, ольхи (*Alnus* Mill.), ив, листья мхов и др.

В целом процедура палеокарпологического исследования голоценового материала, начиная от сбора образцов и до интерпретации полученных данных, нами апробирована и подробно освещалась в ряде работ, опубликованных за рубежом и в ведущих отечественных журналах (Koshkarova, 1995; Кошкарлова и др., 1997; Кошкарлов, Кошкарлова, 2000, 2021; Кошкарлова, Кошкарлов, 2004, 2005; Koshkarova, Koshkarov, 2004, 2005; Кошкарлова и др., 2006; Koshkarova

et al., 2006; и др.). Следует только подчеркнуть, что особенностью применяемого авторами метода является то, что помимо видовой идентификации голоценовых ископаемых объектов мы дифференцировали их на группы удаленности от материнского растения благодаря их хорошей анатомо-морфологической физиономичности. Судя по составу изученных ранее субрецентных макрокомплексов, в Центральной Эвенкии в каждом ископаемом макрокомплексе присутствуют остатки видов растений, как локальные, так и привнесенные с территории, прилегающей по гипсометрическому уровню выше. Это хорошо диагностируется по наличию следов транспортировки на поверхности ископаемых объектов. По этому же признаку установлено, что во всех макрокомплексах большая часть остатков вегетативных частей растений являются локальными, а большая часть генеративных – представителями сопредельных территорий. Таким образом, каждый ископаемый макрокомплекс позволил реконструировать не только локальный и сопредельный тип растительности, но и выделить региональный доминант.

Помимо этого, при определении эдификаторов и доминантов в прошлых растительных сообществах разного гипсометрического уровня использовался метод эколого-ценотического анализа (Молокова, Назимова, 1991), применяемого при фитоиндикации современных лесных экосистем. Как известно, наиболее четким показателем преобразований, происходящих в растительном покрове, является видовой состав травяно-кустарничкового яруса как наиболее мобильный структурный компонент, быстрее реагирующий на различные флуктуации природных условий. Для количественной оценки и определения доминантов эколого-фитоценотической структуры реконструированных растительных палеосообществ была вычислена доля участия каждого вида растений по группам деревьев, кустарников, кустарничков и трав. Результат этого расчета графически представлен в виде карпограмм, по аналогии со спорово-пыльцевыми диаграммами. Карпограммы отражают фитоценотическую структуру реконструированных сообществ на видовом, более детальном, уровне. Это дает возможность проводить более точный интегральный анализ экологических изменений палеосообществ во времени.

И здесь необходимо подчеркнуть о преимуществе точного видового определения по ископаемым семенам и шишкам хвойных по-

род лиственниц Гмелина и сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.), кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.) (близких по роду и морфологии), по сравнению с довольно трудной дифференциацией их по пыльце (Волкова, 1977). Однако по своим биологическим и лесоводственным свойствам эти виды древесных растений существенно различаются (Дендрология..., 1934; Бобров, 1978; Коропачинский, 1983; Абаимов, Милютин, 1995; Коропачинский, Встовская, 2002; и др.), характеризуя определенные топоэдафические условия, что очень важно при реконструкции растительного покрова. Поэтому видовая идентификация их ископаемых объектов проводилась на основе сравнительного морфолого-анатомического изучения с их современными генеративными органами. Выявленные дополнительные морфолого-анатомические детали строения (Кошкарлов, Кошкарлова, 2019) семян и шишек упомянутых выше хвойных позволили более точно диагностировать ископаемые таковых до вида, что, в свою очередь, способствовало более точному восстановлению динамики их ареалов (рис. 1, 2) по фотографии.

Основным актуалистическим источником палеореконструкций стали геоботанические карты современного растительного покрова и ареалов индикаторных видов растений (Фло-

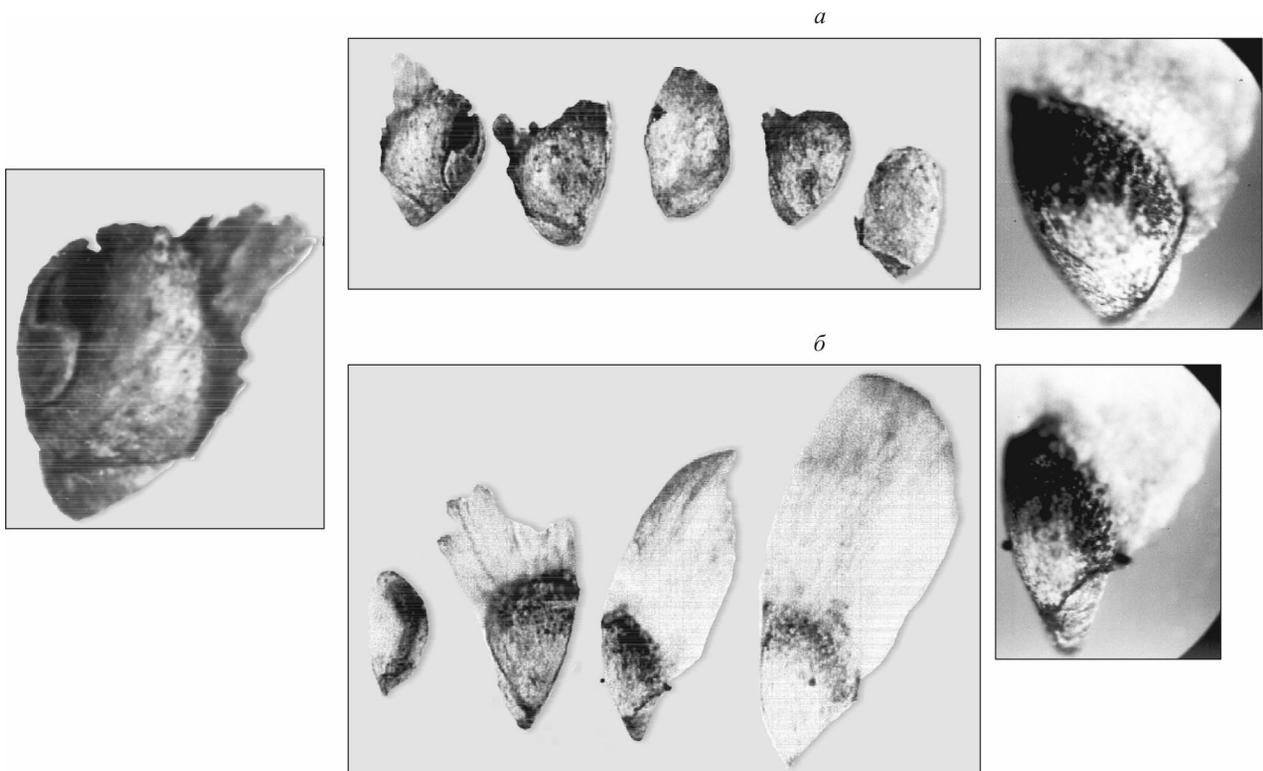


Рис. 1. Ископаемые семена лиственниц сибирской (а) и Гмелина (б) в МБС-2.  $\times 7$  и  $\times 3.5$ .

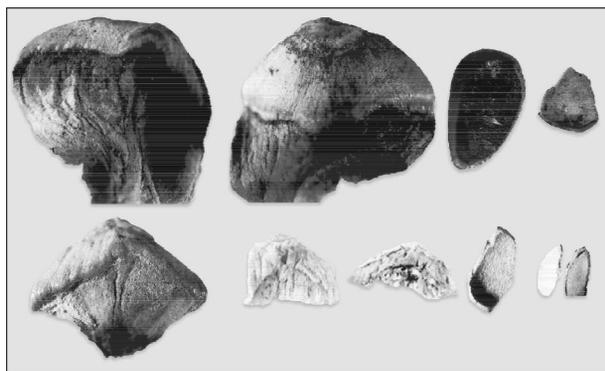


Рис. 2. Ископаемые семена рода сосна в МБС-2.  $\times 7$  и  $\times 3.5$ .

Верхний ряд – семенные чешуи шишек (верхняя часть), семя и фрагмент семени сосны сибирской кедровой; нижний ряд – три верхних части семенных чешуй шишек, два фрагмента семени кедрового стланика.

ра..., 1987–2003; Коропачинский, Встовская, 2002), а также при заключительном анализе палеоботанического материала – эколого-фитоценотическая карта современного растительного покрова Сибири (Букс и др., 1977) высокого уровня обобщения.

Для определения некоторых градиентов прошлой климатической обстановки используются современные климатические показатели метеостанций аналоговых территорий, т. е. территорий, где произрастают современные рас-

тения, растительные сообщества, подобные по структуре и характеру реконструированным, и с участием в них индикационных видов, характерных той или иной зональной и подзональной категории, т. е. в данном случае были воплощены принципы двух методов палеоклиматических реконструкций – ареалогического (Гричук, 1969) и аналогового (Будыко, 1991).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Старшими по возрасту оказались торфяные отложения берегового обнажения р. Котуй – возраст подошвы равен  $4990 \pm 65$  лет назад (далее л. н.) (СОАН-3105), срединного слоя –  $2490 \pm 45$  л. н. (СОАН-3106) и верхнего –  $1920 \pm 30$  л. н. (СОАН-3110).

Видовой и количественный состав ископаемых объектов разрезов помещен на карпограммах в виде макрокомплексов, представляющих собой совокупность определенных видов растений, относящихся к определенному отрезку времени и имеющих свои индикационные элементы (рис. 3, 4).

И здесь, особого внимания заслуживают ископаемые комплексы, в которых совместно присутствуют макроостатки трех эдификаторов в разных сочетаниях по времени – лиственница

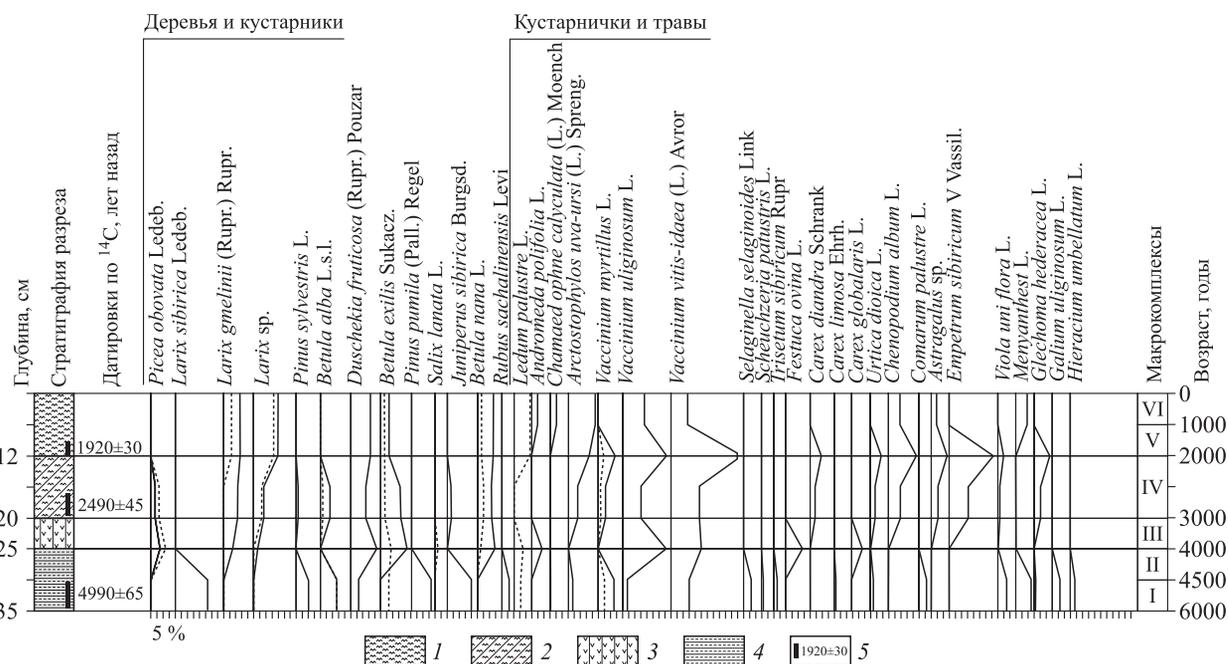


Рис. 3. Карпограмма разреза «Котуй».

Виды торфа: 1 – сфагновый, 2 – осоково-сфагновый, 3 – древесно-травяной, 4 – суглинок, 5 – глубина отбора образцов на радиоуглеродный анализ и датировка по  $^{14}\text{C}$  ( $1920 \pm 30$  – СОАН-3110;  $2490 \pm 45$  – СОАН-3106;  $4990 \pm 65$  – СОАН-3105). Органы растений: 6 – генеративные, 7 – вегетативные.

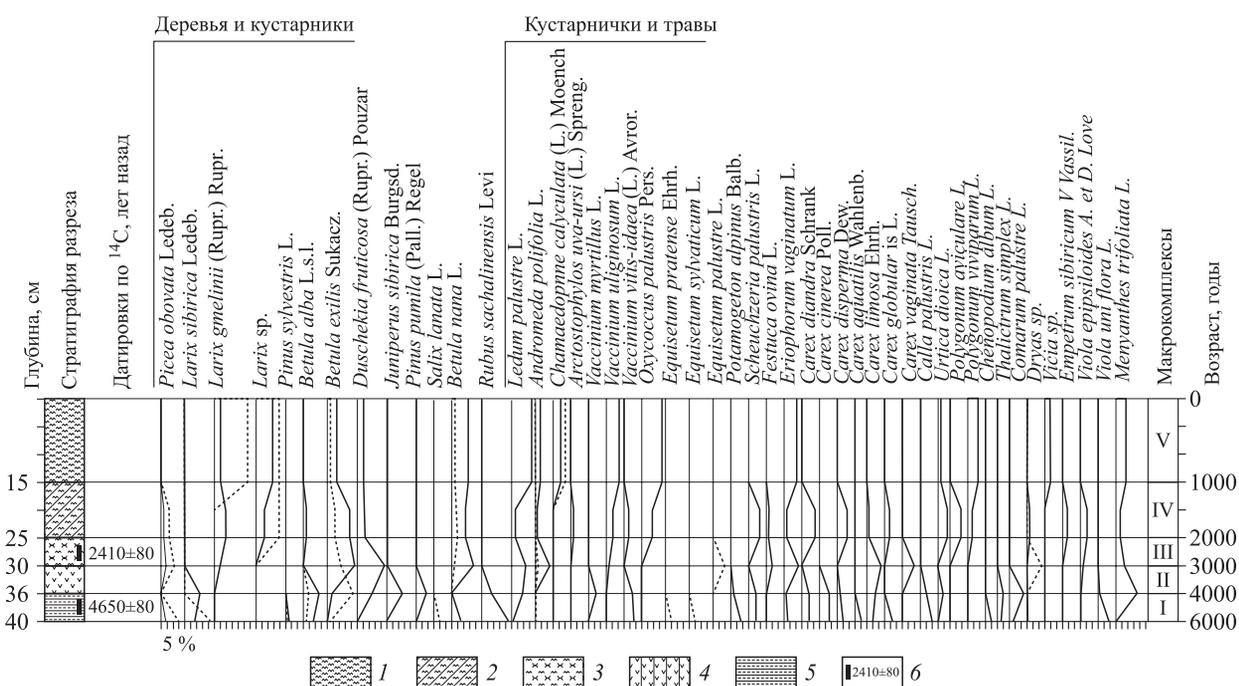


Рис. 4. Карпограмма разреза «Чиринда».

Виды торфа: 1 – сфагновый, 2 – сфагново-осоковый, 3 – сфагново-хвощево-осоковый, 4 – травяно-осоковый, 5 – сулинок; 6 – глубина отбора образцов на радиоуглеродный анализ и датировка по  $^{14}\text{C}$  (2410 ± 80 – Крил-38; 4650 ± 80 – Крил-37). Органы растений: 6 – генеративные, 7 – вегетативные.

Гмелина, л. сибирская, кедровый стланик. При изучении границ современных ареалов лиственницы Гмелина и л. сибирской, А. П. Абаимовым с соавт. (1980) была установлена специфическая зона их прямого контакта. Мы совместили с ней современный ареал кедрового стланика (Коропачинский, Встовская, 2002) и получили контактную зону уже трех эдификаторов: лиственница Гмелина, л. сибирская, кедровый стланик – это северная часть Северо-Байкальского нагорья. Она находится значительно восточнее и южнее совместных местонахождений их ископаемых представителей.

Наряду с этим был выявлен еще один территориальный участок, где произрастают только лиственница сибирская и кедровый стланик (крайний северо-запад северной части Северо-Байкальского нагорья) (рис. 5).

Для расчета прошлых аномальных отклонений некоторых климатических показателей были определены современные климатические параметры по данным метеостанций, находящихся на тех участках контактной зоны, где современные лесные формации в общем подобны по структуре и характеру реконструированным палеосообществам.

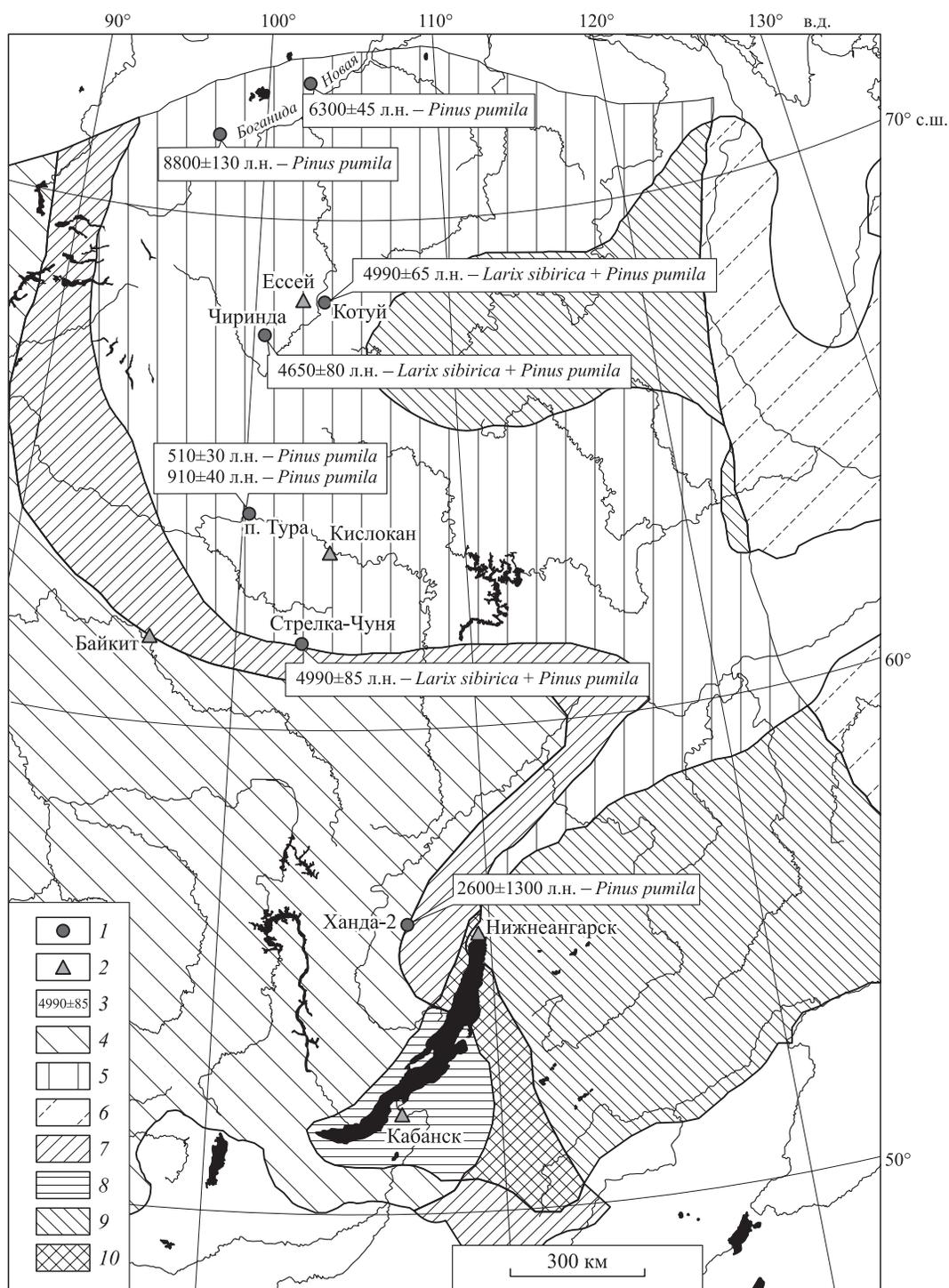
Ранее по палеокарпологическим данным, подтвержденным радиоуглеродным датированием, установленная контактная зона трех эдифи-

каторов фиксировалась дважды в атлантическом оптимуме голоцена Средней Сибири (Кошкарлова, Кошкаров, 2004; Koshkarova, Koshkarov, 2004; Кошкаров, Кошкарлова 2018).

Первое ее местонахождение было определено на территории Субарктики на  $72^\circ$  с. ш. по данным разреза «р. Новая» (рис. 5), датированным  $6300 \pm 45$  л. н. (СО РАН-310).

Здесь уместно упомянуть, что по карпологическим данным М. В. Никольской (1982) еще раньше было отмечено произрастание кедрового стланика с лиственницами (*Larix* sp.) в среднем течении р. Боганида (рис. 5)  $8800 \pm 130$  (ГИН-820) л. н.

Далее контактная зона трех эдификаторов была выявлена для центральной части Эвенкии около 7000 и  $4990 \pm 85$  (СОРАН-4264) л. н. (разрез Стрелка – Чуня, рис. 5). В то время здесь вначале существовали южно-таежные сосново-лиственничные кустарничково-моховые, а затем – среднетаежные лиственничные кустарничково-моховые леса с участием, березы и кедрового стланика. Реконструированные климатические показатели по сравнению с современными: температура января выше на  $4-2^\circ\text{C}$ , июля – на  $2-1^\circ\text{C}$ , годовое количество осадков больше в среднем на 75 мм. Совместное произрастание кедрового стланика с лиственницей Гмелина было определено также для временно-



**Рис. 5.** Современные ареалы произрастания *Larix sibirica*, *L. gmelinii*, *Pinus pumila*.

Местоположение: 1 – разрез, 2 – метеостанций, 3 – датировки по  $^{14}\text{C}$ . Ареалы: 4 – *Larix sibirica*, 5 – *L. gmelinii*, 6 – *Pinus pumila*. Области современного произрастания: 7 – *Larix sibirica* и *L. gmelinii*, 8 – *Larix sibirica* и *Pinus pumila*, 9 – *Larix gmelinii* и *Pinus pumila*, 10 – *Larix sibirica*, *L. gmelinii* и *Pinus pumila*.

го отрезка 910–510 л. н. в районе п. Тура (центральная часть Эвенкии) (Кошкарлова, Кошкарлов, 2005; Koshkarova, Koshkarov, 2005). Климат тогда был теплее и влажнее современного: среднегодовая температура выше на 2.5 °С, годовое количество осадков больше на 70 мм.

В итоге сопряженный анализ данных совместного местонахождения ископаемых остатков семенных чешуй шишек и семян лиственницы Гмелина, л. сибирской, кедрового стланика и их совместного современного произрастания позволил установить динамику их миграций и

Таблица 2. Позднеголоценовые растительные формации ключевого участка «Котуй»

Возраст, лет	Калиброванный возраст, лет до настоящего времени	<sup>14</sup> C дата, лет от 1950 г.	Абсолютная высота над уровнем моря, м	
			400	500
Современный			Ольховниково-мохово-лишайниковая	Лиственничная (лиственница Гмелина) зеленомошно-кустарничковая редкостойная
0–1000			Ольховниково-ерниково-моховая	Лиственничная (лиственница Гмелина) бруснично-толокнянковая
1000–2000	1835	1920 ± 30	Ольховниково-мохово-травяно-ерниково-шикшевая	Лиственничная (лиственница Гмелина) травяно-кустарничково-брусничная, в подлеске голубика
2000–3000	2557	2490 ± 45	Ольховниково-голубично-мохово-ерниковая	Березово-лиственничная (лиственница Гмелина) с елью и единично с сосной кустарничково-брусничная
3000–4000			Ольховниково-осоково-злаково-ерниковая	Елово-лиственничная (лиственница Гмелина) с ольхой ерниково-голубичная
4000–4500			Ивняково-осоково-ерниковая	Сосново-березово-елово-лиственничная (лиственница сибирская и Гмелина), в подлеске с ольхой и голубикой, злаково-осоково-ерниковая
4500–6000	5725	4990 ± 65	Ерниково-травяная	Елово-березово-сосново-лиственничная (лиственница сибирская) травяно-кустарничковая, в подлеске с можжевельником сибирским, кедровым стлаником и малиной сахалинской

определить количественные климатические показатели по временным отрезкам голоцена.

Эколого-фитоценологическое изучение палеокарпологического материала позволило составить схему непрерывной динамики видовой структуры доминирующих растительных формаций в бассейне среднего течения р. Котуй за последние 6000 лет по конкретным гипсометрическим уровням (табл. 2, 3).

Несмотря на фитоценологическое различие восстановленной динамики лесных формаций в разных точках территории исследования, они последовательно развивались в соответствии с изменениями общего климатического режима и рельефа.

На основании синтеза палеокарпологического материала, рассмотренного выше, эволюция растительности в среднем течении р. Котуй с учетом калиброванных значений радиоуглеродного возраста восстанавливается по шести временным интервалам, в которых характер растительного покрова и существовавшая климатическая обстановка выявили наибольшее сходство с экстремумами потеплений и похолоданий, установленными для Центральной Якутии (матрица динамики ландшафтно-климати-

ческих условий в голоцене) А. А. Андреевой и В. А. Климановой (Изменение..., 1999).

Территория исследования в интервале 6000–4500 л. н. была повсеместно занята смешанной тайгой среднетаежного облика, образованной лиственницей сибирской, елью, сосной, кедровым стлаником и участием в травяном покрове бореальных видов. Реконструкция природной среды, судя по средним отклонениям некоторых климатических показателей (по данным метеостанции Кабанск аналоговой территории, рис. 5), отразила существование более мягкого и теплого климата, чем в настоящее время. Температуры были выше современных: в январе – на 17 °С (–20 °С), а в июле – на 4° (17 °С), количество осадков также превышало современный уровень: в холодный период на 28 мм (80 мм), а в теплый – на 130 мм (361 мм).

Далее около 4500–4000 л. н. произрастание ели и сосны в составе лесов сокращается, но появляется более морозоустойчивая лиственница Гмелина, что было обусловлено, вероятно, незначительным похолоданием, которое фиксируется и на Ангаро-Ленском плато (Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2014).

**Таблица 3.** Динамика позднеголоценовых растительных формаций ключевого участка «Чиринда»

Возраст, лет	Калиброванный возраст, лет до настоящего времени	<sup>14</sup> C дата, лет от 1950 г.	Абсолютная высота над уровнем моря, м	
			300	400
Современный			Ерниково-мохово-лишайниковая	Лиственничная (лиственница Гмелина) зеленомошно-кустарничковая редкостойная
0–1000			Ольховниково-ерниково-моховая	Лиственничная (лиственница Гмелина) голубично-ерниковая
1000–2000			Мохово-ерниково-шейхцериево-осоковая	Лиственничная (лиственница Гмелина) шикшицево-бруснично-голубичная
2000–3000	2488	2410 ± 80	Ольховниково-мохово-пушицево-осоковая	Елово-лиственничная (лиственница Гмелина) с ольхой осочково-кустарничковая
3000–4000			Ольховниково-мохово-ерниково-осоковая	Березово-ольховниково-елово-лиственничная (лиственница сибирская, единично лиственница Гмелина) кустарничковая, в подлеске с ольхой, кедровым стлаником и можжевельником сибирским
4000–6000	5385	4650 ± 80	Травяно-ерниково-осоковая зарастающего озера	Елово-березово-лиственничная (лиственница сибирская) травяно-кустарничковая с участием сосны и в подлеске – малина сахалинская

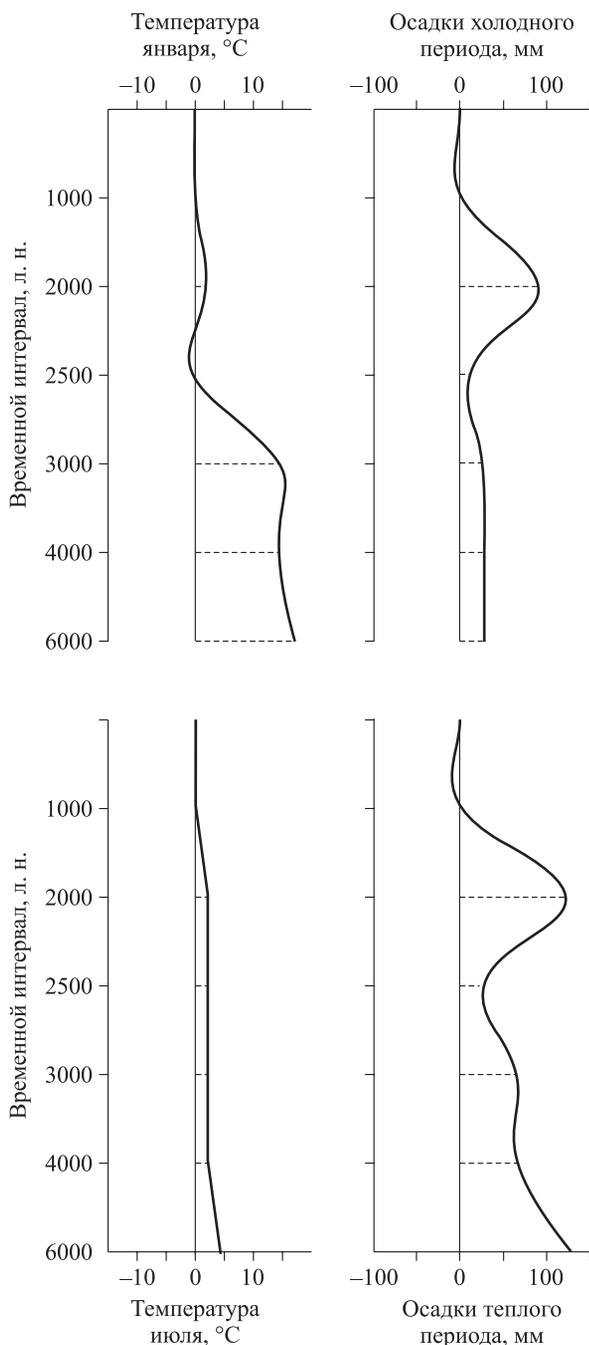
В период 4000–3000 л. н. климатические условия продолжают ухудшаться, главным образом за счет понижения зимних температур и уменьшения среднегодовых осадков. Так, реконструированная температура января (данные метеостанции Нижнеангарск аналоговой территории, рис. 5) понизилась на 3° (–23 °C), а июля – на 1° (16 °C), количество осадков в холодный период осталось прежним (80 мм), а в теплый период уменьшилось на 67 мм (298 мм). Это способствовало усилению роли лиственницы Гмелина в лесном покрове, а л. сибирской и кедровому стланику – перемещению в более низкий высотный пояс растительности. Следует отметить, что в настоящее время на фоне общего потепления климата наибольшее повышение температуры зафиксировано в зимний период для Сибири и Северо-Европейской территории России (Климов, Зиненко, 2003; Мелешко и др., 2003).

Для периода 3000–2000 л. н. характерно резкое похолодание и нарастание континентальности климата: температура января понизилась на 14° (–37 °C) (данные метеостанции Кислокан аналоговой территории, рис. 5), а июля – на 1° (15 °C), количество осадков в холодный период понизилось на 17 мм (63 мм), а в теплый период – на 40 мм (258 мм). Это привело к господству редкостойных лиственничных ольхов-

никово-кустарничково-моховых формаций из лиственницы Гмелина, с единичным участием ели. Такое резкое ухудшение климатических условий в этот отрезок времени проявилось на всей территории Северного полушария (Развитие..., 2010).

В интервале 2000–1000 л. н. произошло улучшение климатических условий: по данным метеостанции Байкит аналоговой территории (рис. 5), температура января увеличилась на 5° (–32 °C), а июля – на 2° (17 °C), количество осадков в холодный период увеличилось на 80 мм (143 мм), а в теплый период – на 98 мм (355 мм). Таким образом, наступившее потепление и уменьшение континентальности климата способствовали увеличению лесистости, развитию лиственничных среднетаежных лесов с елью и участием в травяном покрове бореальных (индикационных) видов. Это фиалка одноцветковая, шейхцерия болотная, осока шаровидная, о. двусеменная, будра плющевидная и др., современное распространение которых ограничивается северной границей средней тайги.

Около 1000 л. н. произошло ухудшение климатических условий – они стали близки современным: температура января понизилась на 5° (–37 °C), а июля – на 4° (13 °C), количество осадков в холодный период уменьшилось на 91 мм



**Рис. 6.** Климатические показатели в среднем течении р. Котуй в голоцене по результатам исследования.

(52 мм), а в теплый период – на 124 мм (231 мм). Такая климатическая обстановка фактически не менялась за последние 1000 лет, что способствовало длительному сроку существования лесорастительных условий, подобных современным. Для оценки изменения климата в среднем течении р. Котуй были рассчитаны аномальные отклонения климатических показателей от современных (разница между градиентами современными и реконструированными) для каждого временного отрезка позднего голоцена (рис. 6).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в динамике лесных формаций в бассейне среднего течения р. Котуй во второй половине голоцена проявились общие закономерности эволюции растительного покрова и изменения климата центральной части Средней Сибири, выявленные по палинологическим данным (Савина, Мироненко, 1984; Никольская, 1982; Никольская и др., 1985; Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2014). Корреляция полученного палеокарпологического материала также показывает четкое совпадение смен растительного покрова с хорошо датированными записями значительных «быстрых» глобальных изменений голоценового климата из обоих полушарий (Mayewski et al., 2004; Развитие..., 2010; Groisman P. A. Et al., 2013), которые фиксируют шесть временных периодов. После климатического оптимума (9.0–6.0 тыс. л. н.) следует тенденция постепенного понижения теплообеспеченности с интервалами значительного глобального похолодания разной степени значимости: 6.0–5.3, 4.2–3.8, 3.2–2.4, 1.2–1.0, 0.60–0.15 тыс. л. н. Но при этом растительность не каждого региона одинаково и синхронно реагирует на эти изменения. Так, в Скандинавии, несмотря на наступление ледников в интервале 6000–5000 кал. л. н. (Svensson et al., 2008), граница леса не только не опускалась, но и поднималась выше. В это же время (6000–4600 лет назад) фиксируется климатический оптимум для территории Центральной Якутии. Для среднего течения р. Котуй около 5725–4500 л. н. также отмечается повышенное в сравнении с современным биоразнообразие растительного покрова и формирование формаций смешанных лесов (лиственница Гмелина, л. сибирская, кедровый стланик, ель сибирская) как результат повышенной тепло- и влагообеспеченности. Таким образом, 700-летнее глобальное похолодание (6000–5300 л. н.) не получило отклика в растительном покрове упомянутых выше территорий.

С нарастанием континентальности климата и похолоданием (максимум 3000–2500 л. н.) биоразнообразие лесного покрова падает, и доминирующей формацией становится редкостойкая лиственничная (лиственница Гмелина). Последующее потепление, начиная с 2000 л. н., активизирует лесообразовательный процесс и создает климатические условия для развития лесных формаций с доминированием лиственницы Гмелина.

Наступившее глобальное похолодание (1200–1000 л. н.) способствовало деградации лесных формаций за счет распространения травяно-кустарничковых сообществ. Особо следует отметить отступление на запад лиственницы сибирской и расширение ареалов лиственницы Гмелина и кедровый стланик на рубеже климатического оптимума и позднего голоцена. Таким образом, растительность и климат исследуемой территории реагировали на значительные «быстрые» глобальные похолодания, но не синхронно и одинаково, несмотря на их мировой масштаб, и имели свои специфические особенности. Это обуславливает необходимость набора региональных палеогеографических реконструкций, чтобы избежать риска использования данных из одного района для экстраполяции на другой (Mayewski et al., 2004; Безрукова и др., 2014; Bezrukova et al., 2014).

Выполненные исследования пополнили банк данных по видовому биоразнообразию растительности детально-региональной информацией. Таксономическое разрешение эколого-ценотических спектров растительных палеосообществ впервые для данной территории составило 53 таксона, из них 49 – виды. Была воссоздана непрерывная динамика доминирующих фитоценозов и ценотипов древесных пород по формам рельефа на территории среднего течения р. Котуй под воздействием глобального изменения климата за последние 6000 лет, что будет способствовать более надежному научному прогнозу при решении вопросов регионального рационального природопользования.

*Работа подготовлена по государственному заданию, при выполнении базового проекта ИЛ СО РАН «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0028.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абаимов А. П., Карпель Б. А., Коропачинский И. Ю. О границах ареалов сибирских видов лиственницы // Бот. журн. 1980. Т. 65. № 1. С. 118–120.

Абаимов А. П., Милютин Л. И. Современные представления о лиственницах Сибири и проблемы их изучения // Проблемы дендрологии: Чтения памяти акад. В. Н. Сукачева. Новосибирск: Наука, 1995. С. 41–60.

Безрукова Е. В., Белов А. В., Летунова П. П., Кулагина Н. В. Отклик природной среды Ангаро-Ленского плато на глобальные изменения климата в голоцене // Геол. и геофиз. 2014. Т. 55. № 4. С. 594–604.

Бобров Е. Г. Лесообразующие хвойные СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1978. 188 с.

Будыко М. И. Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата // Метеорол. и гидрол. 1991. № 4. С. 39–49.

Букс И. И., Байбородин В. Н., Тимирбаева Л. С. Корреляционная эколого-фитоценотическая карта. М. 1 : 7 500 000 / Ред. В. Б. Сочава. Иркутск: Ин-т геогр. Сибири СО АН СССР, 1977.

Волкова В. С. Стратиграфия и история развития растительности Западной Сибири в позднем кайнозое. М.: Наука, 1977. 238 с.

Гричук В. П. Опыт реконструкции некоторых элементов климата северного полушария в атлантический период голоцена // Голоцен: Сб. ст. М.: Наука, 1969. С. 41–57.

Дендрология с основами лесной геоботаники: учеб. для лесотех. вузов и техникумов / Под ред. В. Н. Сукачева. Л.: Гослестехиздат, 1934. 614 с.

Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена) / Под ред. А. А. Величко. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.

Кинд Н. В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М.: Наука, 1974. 255 с.

Климов О. В., Зиненко В. И. Изменение климата Западной Сибири и возможные социально-экономические последствия // Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сент. – 3 окт. 2003 г. М., 2003. С. 294.

Коропачинский И. Ю. Древесные растения Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 384 с.

Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. 707 с.

Коротков И. А. Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 1994. С. 29–47.

Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Воздействие глобальных изменений климата на динамику лесных экосистем Касской равнины (Западная Сибирь) // Лесоведение. 2000. № 3. С. 12–21.

Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Многовековая динамика морфоструктуры лесных экосистем в центральной части Эвенкии в контексте глобальных изменений климата // Евраз. союз ученых. 2018. № 9 (54). С. 4–8.

Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Морфологические особенности женских генеративных органов некоторых видов хвойных как надежные признаки видовой диагностики их ископаемых аналогов при реконструкции динамики климатических трендов // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: Материалы Всерос. конф. с междунар. участ., Красноярск, 26–31 авг. 2019 г. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2019. С. 203–205.

Кошкарлов А. Д., Кошкарлова В. Л. Эколого-географические особенности формирования лесных формаций в среднем течении Нижней Тунгуски в послеледниковое время // Усп. совр. естествозн. 2021. № 2. С. 100–106.

Кошкарлова В. Л., Ваганов Е. А., Кошкарлов А. Д. Пространственно-временная динамика лесной растительности Субарктики Средней Сибири за последние 9 тысяч лет // ДАН. 1997. Т. 355. № 5. С. 712–715.

- Кошкарлова В. Л., Кошкарлов А. Д. Региональные особенности изменения ландшафтов и климата севера Средней Сибири в голоцене // Геол. и геофиз. 2004. Т. 45. № 6. С. 717–729.
- Кошкарлова В. Л., Кошкарлов А. Д. Палеоэкология и динамика лесных экосистем в центральной части Эвенкии за последние 2400 лет // Экология. 2005. № 1. С. 3–10.
- Кошкарлова В. Л., Кошкарлов А. Д., Кольцова В. Г. Климатическая обусловленность динамики позднеголоценовых ценотипов древесных пород во внутреннем экотоне лесов Восточного Саяна // Экология. 2006. Т. 39. № 5. С. 350–359.
- Мелешко В. П., Голицын Г. С., Говоркова В. А. Возможные антропогенные изменения климата России в 21 веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сент. – 3 окт. 2003 г. М., 2003. С. 51.
- Молокова Н. И., Назимова Д. И. Эколого-ценотический состав флоры высотно-поясных комплексов гумидных районов Саян // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. конф., посвящ. памяти Л. М. Черепнина. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1991. С. 103–106.
- Никольская М. В. Палеоботанические и палеоклиматические реконструкции голоцена Таймыра // Антропоген Таймыра: Сб. науч. тр. М.: Наука, 1982. С. 148–157.
- Никольская М. В., Пирумова Л. Г., Климанов В. А., Черкасова М. П. Динамика палеофлор севера Средней Сибири в позднем плейстоцене и голоцене (по палеофитологическим и геохронологическим материалам) // Древние климаты и осадконакопление в восточной окраине Азии: Сб. науч. тр. Владивосток: ДВ науч. центр АН СССР, 1985. С. 117–126.
- Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен / Под общ. ред. А. А. Величко. М.: GEOS, 2009. 120 с.
- Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен – голоцен – элементы прогноза. Атлас-монография / Под ред. проф. А. А. Величко. М.: GEOS, 2010. Вып. 3. 220 с.
- Савина Л. Н., Мироненко О. Н. Растительность бассейна оз. Чиринда (Северная Эвенкия) в позднем голоцене // Бюл. Комис. по изуч. четвертичного периода. № 53. М.: Наука, 1984. С. 122–124.
- Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1966а. Вып. 21. Ч. II. 360 с.; 1966б. Вып. 22. Ч. II. 360 с.; 1966в. Вып. 23. Ч. II. 318 с.; 1967. Вып. 24. Ч. II. 340 с.; 1968а. Вып. 22. Ч. IV. 279 с.; 1968б. Вып. 23. Ч. IV. 328 с.; 1968в. Вып. 24. Ч. IV. 351 с.; 1969. Вып. 21. Ч. IV. 402 с.
- Стариков Э. В., Жидовленко В. А. Радиоуглеродные датировки Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР. Сообщ. 2 // Бюл. Комис. по изуч. четвертичного периода. М.: Наука, 1981. № 51. С. 182–184.
- Тесаков Ю. И. О соотношении хроно- и биостратиграфических подразделений (на примере силура) // Геол. и геофиз. 2015. Т. 56. № 4. С. 805–829.
- Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии. Опыт транс-континентальной корреляции этапов развития растительности и климата. М.: Наука, 1977. 200 с.
- Флора Сибири. В 14 т. / Под ред. Л. И. Малышевой. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1987–2003.
- Bezrukova E. V., Belov A. V., Letunova P. P., Kulagina N. V. The response of the environment of the Angara-Lena Plateau to global climate change in the Holocene // Rus. Geol. Geophys. 2014. V. 55. N. 4. P. 463–471 (Original Rus. Text © E. V. Bezrukova, A. V. Belov, P. P. Letunova, N. V. Kulagina, 2014, publ. in Geol. & Geofiz. 2014. V. 55. N. 4. P. 594–604).
- Groisman P. A., Blyakharchuk T. A., Chernokulsky A. V., Arzhanov M. M., Marchesini L. B. M., Bogdanova E. G., Borzenkova I. I., Bulygina O. N., Karpenko A. A., Karpenko L. V., Knight R. W., Khon V. Ch., Korovin G. N., Meshcherskaya A. V., Mokhov I. I., Parfenova E. I., Razuvaev V. N., Speranskaya N. A., Chebakova N. M., Yagodskaya N. N. Climate changes in Siberia In: Reg. environ. changes in Siberia and their global consequences / Pavel Ya. Groisman and Garik Gutman (Eds.). Springer Dordrecht, 2013. P. 57–109.
- Koshkarova V. L. Vegetation response to global and regional environmental change on the Taimir Peninsula during the Holocene // Polar Geogr. 1995. V. 19. Iss. 2. P. 145–151.
- Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Regional signatures of changing landscape and climate of northern Central Siberia in the Holocene // Rus. Geol. Geophys. 2004. V. 45. N. 6. P. 672–685 (Original Rus. Text © V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov, 2004, publ. in Geol. & Geofiz. 2004. V. 45. N. 6. P. 717–729).
- Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Paleoeecology and dynamics of forest ecosystems in Central Evenkia during the past 2400 years // Rus. J. Ecol. 2005. V. 36. N. 1. P. 1–7 (Original Rus. Text © V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov, 2005, publ. in Ekologiya. 2005. N. 1. P. 3–10).
- Koshkarova V. L., Koshkarov A. D., Kol'tsova V. G. Climatic dependence of the late Holocene dynamics of tree species cenotypes in the intrazonal ecotone of Eastern Sayan forests // Rus. J. Ecol. 2006. V. 37. N. 5. P. 316–324 (Original Rus. Text © V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov, V. G. Kol'tsova, 2006, publ. in Ekologiya. 2006. N. 5. P. 350–359).
- Mayewski P. A., Rohling E. E., Stager J. C., Karlen W., Maasch K. A., Meeker L. D., Meyerson E. A., Gasse F., van Kreveld Sh., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R. R., Steig E. J. Holocene climate variability // Quatern. Res. 2004. V. 62. Iss. 3. P. 243–255.
- Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. G., Ramsey C. B., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Hajdas I., Heaton T. J., Hogg A. G., Hughen K. A., Kromer B., Manning S. W., Muscheler R., Palmer J. G., Pearson C., Plicht J. van der, Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Turney C. S. M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S. M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration Curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. V. 62. Iss. 4. P. 725–757.

Svensson A., Andersen K. K., Bigler M., Clausen H. B., Dahl-Jensen D., Davies S. M., Johnsen S. J., Muscheler R., Parrenin F., Rasmussen S. O., Röthlisberger R., Seierstad I., Steffensen J. P., Vinther B. M. A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology // *Clim. Past.* 2008. V. 4. Iss. 1. P. 47–57.

Tesakov Yu. I. Correlation of chronostratigraphic and biostratigraphic units (example of the Silurian System) // *Rus. Geol. & Geophys.* 2015. V. 56. N. 4. P. 631–651 (Original Rus. Text © Yu. I. Tesakov, 2015, publ. in *Geol. & Geofiz.* 2015. V. 56. N. 4. P. 805–829).

## ECOLOGICAL AND CENOTIC FEATURES OF THE FORMATION OF FOREST ECOSYSTEMS IN THE MIDDLE REACHES OF THE KOTUY RIVER IN THE CONTEXT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

---

E-mail: koshkarova.vl@ksc.krasn.ru, koshkarov.al@ksc.krasn.ru

The article highlights the results of a paleobotanical study of peat deposits in the basin of the middle reaches of the river Kotuy (Northern Evenkia). The macro-remains of fossil plants became the basic material for the study. Based on the change in the species composition of fossil objects and radiocarbon dating by  $^{14}\text{C}$ , the dynamics of the phytocenotic structure of changes in the structure of forest formations from 6000 years ago to the present is reconstructed. A quantitative assessment of their climatic conditionality is given. At the beginning of the period under consideration, because of warming and increasing humidity, the biodiversity of the vegetation cover increases and the formation of mixed forests (Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)) is formed. With an increase in the continentality of the climate and cooling, biodiversity decreases, and the sparse larch (Gmelin larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.)) becomes the dominant formation. The dynamics of the boundaries of the ranges of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), Gmelin larch, Siberian dwarf pine (*Pinus pumila* (Pall.) Regel.) at the boundary of the climatic optimum and in the late Holocene was established.

**Keywords:** *vegetation reconstruction, plant macroremains, climate, Holocene, geochronology, Northern Evenkia.*

**How to cite:** *Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Ecological and cenotic features of the formation of forest ecosystems in the middle reaches of the Kotuy River in the context of global climate change // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 57–69 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*161:581.552

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ УСЫХАЮЩИХ ГОРНЫХ КЕДРОВНИКОВ ЮГА СИБИРИ

А. С. Шишкин, Р. Т. Мурзакматов, И. И. Брюханов

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru, takcator\_m@mail.ru, bruyhanov.ii@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 15.05.2024 г.

Сосна сибирская (кедр сибирский) (*Pinus sibirica* Du Tour) имеет три экологические формы, определяющиеся условиями возобновления и формирования древостоев: возобновление свежих гарей, возобновление под пологом лиственных пород и формирование кедрового подростка под пологом светлохвойных пород, но не достигающего верхнего полога. Первые две формы возобновления наблюдаются в экотопах соответствующих условиям произрастания сосны сибирской, но сценарии формирования кедровников различны. Исследования проводились в двух типах лесорастительных условий: Западно-Саянский округ горно-таежных и подгольцово-таежных кедровых лесов (Абазинское участковое лесничество) и Южно-Хакасский округ горно-таежных темнохвойных лесов (Матурское и Копьевское участковые лесничества). В Абазинском лесничестве усредненная периодичность плодоношения кедрового насаждения составила 5 лет, а в Кузнецком Алатау – 3 года. Плодоношение кедра – прогнозируемое явление, но разнос и прорастание семян кедра – сложные процессы, связанные с зоохорным распространением и мощным воздействием трофического фактора потребителей орехов. По радиальному приросту деревьев, определенному по пням на лесосеках (санитарные рубки) Абазинского лесничества, кедровники имеют пирогенное происхождение, хороший рост в течение жизни и усыхание без потери прироста. В современной истории лесоведения вспышечная активность корневых патогенов встречается впервые. Прогноз возобновления усыхающих кедровников в среднегорной части Западного Саяна положительный. В Кузнецком Алатау подростка кедра недостаточно и лесовозобновление в крупнотравных типах леса возможно только со сменой пород. Вырубка древостоя, как и его усыхание с последующим разрастанием травостоя, способствует росту плотности населения потребителей кедровых орехов и соответственно исключает возобновление кедра. Сохранение подростка на вырубках 30-летней давности дало положительные результаты формирования плодоносящих кедровников. Организация орехопромысловых зон с запретом рубки кедра и его последующее усыхание привели к экономическим потерям ценной древесины и побочного ресурса прижизненного использования кедровых насаждений.

**Ключевые слова:** горные кедровые леса, усыхание, восстановление, семяношение, подрост, потребители семян кедра, Южная Сибирь.

DOI: 10.15372/SJFS20240507

### ВВЕДЕНИЕ

Экологические формы сосны сибирской (кедра сибирского) (*Pinus sibirica* Du Tour) определяются условиями возобновления и формирования крон древостоев. Первая форма образуется при возобновлении свежих гарей, обусловлена преобладанием пирогенного фактора в смене поколений и появлением подростка с прямым возобновлением кедра без промежуточных стадий подпологового роста (Седых, 2009). В этой

форме выделяются два варианта – сосновая и собственно кедровая. Первый географически приурочен к высокогорной территории юга Сибири с небольшим количеством осадков, высокой воздушной влажностью и каменистыми почвами (Забайкалье, Восточный Саян, Тува). Учитывая отсутствие экологических конкурентов среди древесных пород, такие территории следует признать оптимальными для произрастания кедра. В современных климатических условиях они могут прогорать низовыми пожарами

ми (через 70–90 лет), но даже после локальной гибели древостоя идет прямое возобновление кедр.

Второй вариант – монодоминантные кедровники гор Южной Сибири (Западный Саян, западный макросклон Кузнецкого Алатау) с гумидным климатом – сформировался в засушливый период 250–300 лет назад (л. н.) (Савина, 1976; Коновалова, 2015; Кошкарова и др., 2016). Этому предшествовали катастрофические пожары, характерные для темнохвойных насаждений, накапливающих большие запасы горючего материала (Валендик и др., 2001). В настоящее время в связи с возросшей мощностью почвенного горизонта старовозрастных насаждений в результате органического опада происходит смена кедровых насаждений на пихтовые, чему способствуют фенологические нарушения и вспышечное развитие грибных инвазий (Павлов и др., 2013; Павлов, 2015; Pavlov, 2015). При оптимальности климатических и почвенных условий для пихты (*Abies Mill.*) и ограниченности пожаров кедр начинает ей уступать свои монодоминантные сукцессионные серии развития (Семечкин, 2002; Поляков, 2007).

Вторая форма соответствует классическому жизненному циклу темнохвойных пород с возобновлением кедр под пологом сомкнувшихся пионерных (порослевых) лиственных древостоев, достигших жердняковой (мертвопокровной или мелкотравной с низкой численностью потребителей орехов) стадии формирующихся на вырубках или гарях. Такие кедровники имеют более длительный, разновозрастный период формирования.

Третья экологическая форма (Западная Сибирь, Тува) связана с возобновлением кедр под пологом светлохвойных пород (сосна, лиственница (*Larix Mill.*)), которые обеспечивают ему под древесным пологом воздушную влажность (Седых, 2009). Однако в этих условиях кедр не достигает верхнего полога, оставаясь подлесочной породой, поскольку в связи с засушливостью климата для таких территорий характерна пирогенная цикличность низовых пожаров 40–50 лет (Иванов, Иванова, 2010; Иванова, Иванов, 2015). В ландшафтной структуре кедровники занимают узкую ситуационную, экологическую нишу и встречаются на изолированных от пожара буграх среди болот и по поймам в Западной Сибири, а также по горным хребтам и в верхнем лесном поясе Тувы.

Кедр сибирский из всех древесных пород бореальной зоны обладает значительной зоо-

хорной экологической амплитудой. Возобновление кедр связано с кедровкой тонкоклювой (*Nucifraga caryocatactes (Linnaeus)*), которая по своей «логике» разносит семена и «учитывает» численность конкурентов. Поэтому высокотравные типы леса нуждаются в искусственном возобновлении (Лоскутов, 1971; Павлов и др., 2009). Изучая причины усыхания кедровников и прогнозируя их восстановление, необходимо учитывать особенности экологических форм кедр и специфику его возобновления и произрастания в будущем.

Литературные сведения о причинах усыхания кедр противоречивы. Климатические изменения, вызывающие засушливость вегетационных сезонов и поражение кедр на южных склонах, частично объясняют массовое усыхание кедровников (Kharuk et al., 2013), но не раскрывают его физиологический механизм. Логично предположить, что ранние оттепели и солнечная инсоляция до оттаивания грунта в сочетании с возвратом положительных температур осенью приводят к повреждению кедр корневыми патогенами (Павлов, 2015; Pavlov, 2015). Весенняя провокация наблюдалась нами в подгольцовой зоне на Енисейском кряже (верховья рек Тис, Гаревка, Сурниха и др.). В начале мая 2000 г, в течение 2 дней температура поднялась до 20 °С, что вызвало массовый ожог и отпад хвой пихты, а также годичных побегов, имеющих плоское охвоение ветвей. Для кедр характерно «веерное» охвоение побегов, защищающее от ожога, поэтому наблюдалось только пожелтение периферийной половины хвоинок. Ожог хвой периодически повторяется и, очевидно, служит одной из причин формирования пихтовых редин высокогорий. Мы наблюдали массовый весенний ожог хвой кедр и сосны, характерный для лесных питомников, размещенных в низкогорье, когда транспирация при ярком весеннем солнце в сочетании с экранирующим снежным покровом не поддерживается корнями, находящимися в мерзлом грунте.

В последнее время усиливаются осенний ветровой режим и возврат тепла на фоне не промерзшего грунта, что провоцирует обрыв корней и развитие корневой инфекции. Поздние осени способствуют развитию дендропатогенных грибов и приводят к ослаблению древостоев до состояния, провоцирующего заселение ксилофагами. Подобное явление хорошо известно и вызывает современное массовое усыхание ельников в Европейской части России (Селиховкин и др., 2016). Проведя сравнительный анализ раз-

личных методик оценки жизненного состояния древостоев кедр в южной части Северо-Западного Алтая, Д. А. Демидко (2011) пришел к выводу о ведущей роли возраста и напряженности конкурентных отношений в древостое. При анализе причины усыхания пихтово-кедровых лесов Кузнецкого Алатау выдвинута гипотеза техногенного загрязнения (Бажина и др., 2013). При этом не выявлены критические концентрации поллютантов (их состав), способные непосредственно вызвать усыхание

Раскапывание нами корней засохших елей (*Picea A. Dietr.*) в Туве выявило следующие закономерности. Ели засыхали (9 из 10) без предварительного физиологического ослабления, в возрасте 70–75 лет с возобновлением на микроповышениях после катастрофического (верхового) пожара. Это позволяет предположить о первоначальном крупнотравном типе постпирогенных ельников. Складывалось впечатление, что разрушающая гниль прежних древесных остатков переходит на живые ели. В результате смоляные кольца поздней древесины отсутствуют, деревья засыхают и ломаются или вываливаются.

Формы корневых патогенов имеют избирательный характер, если в горах юга Сибири поражается кедр и сохраняется пихта, то севернее (Енисейский кряж), наоборот, выпадает пихта из смешанного состава кедро-пихтовых насаждений. Учитывая большие площади усыхающих кедровников в горах на юге Сибири (около 1 млн га), которые в 70-х годах выведены из главного пользования под орехопромысловые зоны, а также впервые в современной истории масштабную вспышку активности корневых патогенов, актуальность исследования возобновления кедр и прогноз состояния этой формации не вызывает сомнений.

Цель работы – анализ возможности восстановления кедр в условиях его массового естественного усыхания.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в двух лесоразрешительных зонах. В кедровых лесах северного макросклона Западного Саяна, где преобладает «сосновый» тип кедровников с периодическим прогоранием и прямым возобновлением без смены пород (Смагин и др., 1980), и на восточном макросклоне Кузнецкого Алатау с характерным влажным климатом, где преобладают высо-

котравные типы леса, а на вырубках доминирует порослевое лиственное возобновление, поэтому прямое возобновление кедр невозможно.

В географически разных объектах обследовано по три группы типов насаждений (зеленомошные, черничные, травянистые), сплошных и выборочных санитарных рубок (первая – Абазинское лесничество) и для лесопиления (вторая – Матурское и Копьевское лесничества) вырубков. На них оценивались санитарное состояние взрослых деревьев, а также густота и состояние подроста. По следам от шишек на модельных ветвях генеративного яруса (10 деревьев по 3 ветки) определялась урожайность кедр за 10 предыдущих лет.

На лесосеках сплошной санитарной рубки (Абазинское лесничество) для выяснения возможности возобновления сразу после рубки на волоках проведены экспериментальный, имитированный под кедровку, посев семян (50 гнезд по 5–10 орешков) и посадка саженцев кедр (200 экз. 2 лет). По пням (по 50 шт.) на лесосеках двух различных условий роста кедр оценивались динамика радиального прироста, которая показывала условия первоначального и последующего роста древостоя; физиологическое состояние дерева на момент усыхания и рубки; распространение пневой гнили. Отсутствие выделения смолы в лубяной части среза пня указывало на гибель дерева до санитарной рубки. На пасеках лесосеки и под пологом усохших древостоев проводился пересчет подроста с определением возраста, высоты и прироста за последние 5 лет, а также подлеска (трансекты по 100 м). Трансекты (3) закладывались в верхней, средней и нижней частях склона. Оценивалось изменение напочвенного покрова по доминированию видов. На лесосеке и в оставшихся не поврежденных прилегающих фоновых насаждениях проводился учет мелких млекопитающих – основных наземных потребителей семян хвойных пород с постановкой в одном биотопе по 50 плашек по схеме 5 × 5 м на 2 сут. Для установления причины засыхания проводилось раскапывание корней погибших деревьев (10 шт.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Возобновление.** Первоначальное условие возобновления кедр – распространение и сохранность семян с последующим формированием подроста, которое возможно по трем вариантам.

*Барохорное* – из опавших шишек в радиусе кроны или их разлета по склону. Обычно такие одиночные всходы и подрост в кедровниках приурочены к поверхности стволов валежа, которые не посещаются мышевидными грызунами.

*Гидрохорное* – перенос шишек водой и распространение кедрового ореха по гидросети вниз по течению, что приводит к формированию «бассейновых» популяций кедрового ореха (Лузганов, Абаимов, 1977). В этом варианте шишки полностью защищены от потребителей до прорастания ореха, но часто гибнут от переувлажнения. Формированию пойменных кедровников способствуют хорошие условия произрастания кедрового ореха на береговых валах с богатой почвой, почвенной и воздушной влажностью. Эти кедровники обычно не горят и не повреждаются вредителями (холодно), а также защищены от рубки водоохранными полосами. Ленточная структура пойменных кедровников служит своеобразным экологическим каркасом и источником формирования будущих кедровников. Кедровка также использует воду для размещения своих запасов, но в этом случае орехи, как правило, не имеют перспективы прорасти.

*Зоохорное* – разнос семян позвоночными, в котором специализируется только один вид – кедровка тонкоклювая, роль остальных ничтожна и не превышает 1 % (Владышевский, 1980). Следует предположить, что сокращение площади кедровников и периодичность их плодоношения окажет отрицательное воздействие на численность кедровки как специализированного в питании вида. Однако периодические неурожаи кедрового ореха не влияют на ее плотность, а трофические кочевки, характерные для этой птицы, быстро заполняют нишу потребителей кедрового ореха. Кроме того, по сведениям В. Б. Тимошкина, кедровка питается не только кедровыми орехами, но и мышевидными.

На численность кедровки большое влияние оказывает постановка верхних капканов. Нами отмечено, что в начале охотничьего сезона (ноябрь), в первые две-три проверки капканов попадает наибольшее количество оседлых птиц (кедровка, кукушка (*Perisoreus infaustus* (Linnaeus)), дятлы (Picidae)), которые затем не встречаются на путях. После охотничьего сезона в предгнездовой период плотность населения птиц выравнивается, но общая численность снижается.

Сойка (*Garrulus glandarius* (Linnaeus)), кукушка, поползень (*Sitta* Linnaeus) не могут добыть орешек из шишки и подбирают их только пос-

ле падения на землю и разрушения грызунами. Глухарь (*Tetrao urogallus* Linnaeus) и тетерев (*Lyrurus* Swainson) способны самостоятельно раздалбливать шишку кедрового ореха, но их мощный мышечный желудок легко перетирает кедровую скорлупу. На р. Большой Кас с характерными кедровниками по береговым валам и илистым руслом нами встречались орехи даже в пищеводе кряковой утки (*Anas platyrhynchos* Linnaeus). Запасы ореха бурундуком (*Tamias*) устраиваются достаточно глубоко в корнях под землей и не могут прорасти. На раскопанных медведем (*Ursidae*) бурундучинах отмечаются одиночные всходы кедрового ореха, причем на минерализованной поверхности гораздо больше всходов пихты и других анемохоров, чем кедрового ореха.

Многочисленная группа мелких млекопитающих не может быть распространителем кедрового ореха по двум причинам (Ткаченко, 1955). Трудно представить, чтобы орех, предпочитаемый в питании, был «случайно» утерян (по версии автора). Мышевидные делают запасы на своем индивидуальном участке, а это десятки метров кедрового биотопа, в котором не стоит проблема лесовосстановления. Бесспорно, они (полевки (*Arvicolinae*), мыши (*Muridae*), бурузубки (*Sorex* Linnaeus), бурундуки) занимают первое место в уничтожении семян кедрового ореха, поскольку многочисленны. Плотности 1 зверька на 10 м<sup>2</sup> достаточно, чтобы съедлся весь почвенный запас семян и всходы всех древесных пород (Владышевский, 1980). По нашим данным, основным фактором интенсивности изъятия почвенного запаса семян служат защитные условия для их потребителей (захлавленность). На свежих грядках, в мертвопокровных жердняках и лишайниковых типах леса наблюдается массовое возобновление кедрового ореха и других хвойных пород. Как показали многолетние исследования в заповеднике «Денежкин камень», волны возобновления кедрового ореха возникают при сочетании хорошего урожая кедрового ореха и низкой численности мелких млекопитающих-потребителей (Семечкин, 1964). Однако такая ситуация в природе встречается редко, чаще урожай растений провоцирует размножение потребителей. Реальные возможности кедровки по расселению кедрового ореха оцениваются на мертвопокровных площадях (откосы дорог), где нет мышевидных и «волны» гнездового возобновления совпадают с урожайными годами (Сташкевич, Шишкин, 2014).

На северном макросклоне Западного Саяна неурожаи семян кедрового ореха отмечаются в 2002, 2007 и 2012 гг., т. е. с периодичностью 5 лет (рис. 1).

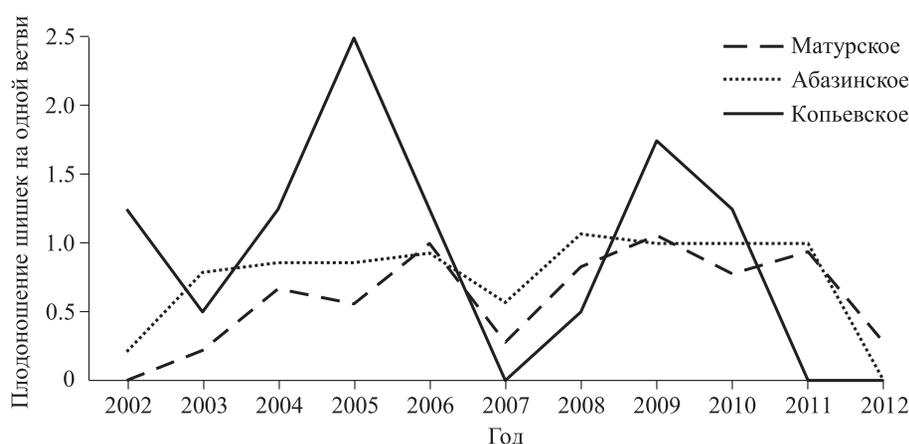


Рис. 1. Плодоношение кедров сибирского по лесничествам.

При этом урожайность не отличается высокой интенсивностью, в среднем на одной плодоносящей ветке формируется одна шишка (по урожаю 2012 г. небольших размеров). В гумидном климате Кузнецкого Алатау наблюдается трехлетняя цикличность урожайности орехов кедров, что указывает на его лучшие условия произрастания (рис. 1). Неурожайный 2007 г. прослеживается и на этой территории. Как и ожидалось, в высокотравных кедровниках отсутствует подрост (Лоскутов, 1971). Кедровка не заносит орехи на травянистые участки (опасаясь конкурентов), а высокая плотность мышевидных не позволяет им сохраниться при опадении с крон. Поэтому возрастное разрушение кедровников со временем приведет к образованию травянистых полей, характерных для высокогорной зоны. Возобновление кедров возможно только при катастрофическом прогорании территории. На подгольцовых вырубках, в условиях гумидного климата, необходимо создавать лесные культуры крупномерными саженцами под защитой пней (Павлов и др., 2009). Не следует рекомендовать посадку сеянцев в бульдозерные площадки, поскольку они погибают от переувлажнения.

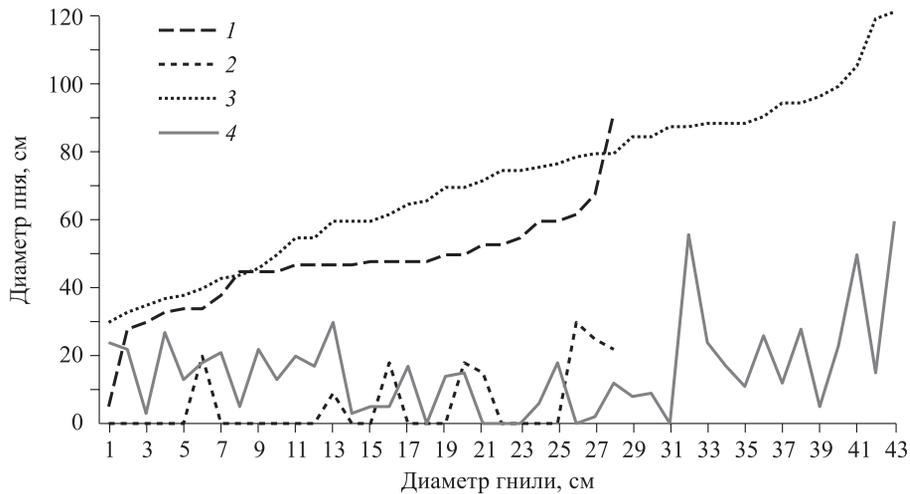
Следовательно, плодоношение кедров — прогнозируемое явление, но разнос и образование жизнеспособного подраста кедров — сложные процессы. Многочисленные попытки и варианты (включая наши эксперименты) посева семян кедров оказались безуспешными. Орехи в основном съедались мышевидными, а гнездовое возобновление всходов раскапывалось белками (*Sciurus* Linnaeus), соболями (*Martes zibellina* Linnaeus) и самими кедровками в поиске запасов или не проросших нижних орешков, а маркерами «захоронок» становились семядоли пророс-

ших семян. Учет мышевидных на сплошной санитарной вырубке и в прилегающем кедровнике Абазинского лесничества, показали одинаковые результаты, что свидетельствует о консервативном отношении к индивидуальному участку. Однако на свежей кедровой лесосеке, расположенной в крупнотравном кедровнике Кузнецкого Алатау, несмотря на высокую минерализацию (70 %), на лесосеке отловлено в 3 раза больше, чем в соседнем насаждении. Этому могло способствовать два обстоятельства — нарушение трелевкой убежищ и появление корма с вершин сваленных деревьев. Наши данные мониторинга на вырубках темнохвойных насаждений Енисейского края показали увеличение суммарной плотности мелких млекопитающих при изменении их видового состава и условий размножения (Шишкин и др., 2014).

**Санитарное состояние.** На северном макросклоне Западного Саяна при обследовании сплошной санитарной вырубке кедров выявлено низкое распространение пневой гнили, но все срубленные деревья засохли сразу, не снижая прироста. Теоретически повреждение ксилофагами вызывается предварительным физиологическим ослаблением дерева и его защитных реакций по различным причинам. Подобные явления массового усыхания не наблюдались ранее, что свидетельствует о наличии другого фактора, влияющего на состояние деревьев, приводящего к мгновенной их гибели.

Динамика радиального прироста деревьев на сплошной лесосеке, пройденной санитарной рубкой, характеризуется тремя закономерностями:

— кедровники имеют пирогенное происхождение, о чем указывают их одновозрастность и хороший радиальный прирост в начале роста, а также наличие углей в почвенном слое;



**Рис. 2.** Распространение напенной гнили по Абазинскому (диаметр пня (1) и гнили (2)) и Матурскому (диаметр пня (3) и гнили (4)) лесничествам.

– хороший прирост сохранялся до 75 лет, т. е. молодняки были не перегушенные и смыкание крон началось уже после смыкания древесного полога в стадии жердняка, и в последующие 70 лет постепенно и закономерно (изреживание) интенсивность роста снижалась;

– в последние 20 лет прирост увеличивался и дерево засохло сразу без длительного физиологического ослабления.

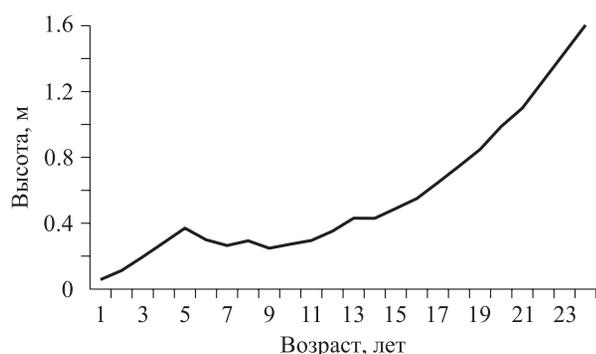
Полученные результаты позволяют сделать заключение о действии фактора, практически мгновенно прекращающего физиологические процессы в дереве и ограничивающего фатального заселения вторичных вредителей. По мнению И. Н. Павлова (2015; Pavlov, 2015), причиной такого сценария гибели деревьев являются корневые патогены. Единственным противоречием служит массовое поражение и усыхание насаждений кедров, когда для корневых патогенов характерно куртинное повреждение (наблюдаемое нами в лиственничниках Монголии), приуроченное к микроусловиям, благоприятным для инвазии. При этом наблюдается избирательность повреждения кедров относительно пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), которое наблюдалось в Западном Саяне. На юге Енисейского края происходит усыхание пихты (с плодовыми телами опенка) относительно сохранения кедров в смешанных (кедрово-пихтовых) темнохвойных насаждениях.

Обследование вырубленных кедровников Кузнецкого Алатау показало высокую изначальную фаутичность и распространение пневой гнили. Поражение комлевой части ствола кедров более выражено, но не связано с диаметром пней и усыханием кедров (рис. 2).

Таким образом, в результате обследования усыхающих кедровников наблюдались быстрая гибель деревьев без снижения прироста и низкая заселенность ксилофагами, которые не могли быть ее причиной. Массовая гибель одновозрастных кедровых насаждений оправдывает применение сплошных санитарных рубок. При наличии очага заражения и благоприятных условий его развития выборочная санитарная вырубка не останавливает отпад древостоя кедров, а наоборот, ускоряет его усыхание, т. е. имеет обратный эффект сохранения кедровых насаждений.

**Подрост.** Перечет подроста на зимней сплошной санитарной вырубке 2011 г. (Абазинское лесничество) показал высокую сохранность на пасаках и достаточно большое количество всходов на волоках (1250 шт./га). Наблюдается известная закономерность: чем выше и старше подрост, тем хуже его жизненное состояние и ниже сохранность при рубке. Подрост в возрасте до 5–6 лет практически не повреждается и при густоте свыше 600 экз./га может обеспечить естественное возобновление кедров на вырубке.

На лесосеке, пройденной сплошной санитарной рубкой (Абазинское лесничество) возникла достаточно уникальная ситуация (последний раз в 1981 г.), когда шишка оставалась в кроне всю зиму. Обычно урожай ореха, упавший на землю, быстро съедается мелкими млекопитающими и не участвует в формировании возобновления. Однако оставшиеся в кроне шишки и уплотнение снега на волоках, препятствующее передвижению мышевидных, обеспечили появление всходов и послужило обоснованием для проведения экспериментов по весеннему посеву семян кедров на волоках лесосек.



**Рис. 3.** Прирост в высоту подростка кедрового дерева в усыхающем кедровнике северного макросклона Западного Саяна.

Учет подростка на круговых площадках северного макросклона Западного Саяна под пологом усыхающих зеленомошно-вейниковых кедровников выявил его достаточное количество (1008 шт./га) и хорошее жизненное состояние. При среднем возрасте 14,6 лет высота подростка составляет 1,6 м. После усыхания крон материнского полога и увеличения освещенности наблюдается двукратное увеличение прироста подростка в высоту за последние 5 лет (16,5 см/год), которое превосходит 40 см/год (рис. 3). Такие участки насаждений с крупномерным подростом не следует передавать в санитарную рубку, поскольку нельзя обеспечить его сохранность. Кроме того, при валке засохших деревьев без парашютирующей кроны ствол разламывается на части и не имеет товарной ценности.

Наблюдаемое явление осветления подростка сопоставимо с проведением верховой рубки ухода, которая обеспечивает прямое возобновление кедрового дерева (Коновалова и др., 2017).

Жизнеспособный подрост кедрового дерева с увеличением прироста после дефолиации материнского полога способен образовать новое поколение. В связи с разрастанием травостоя и увеличением плотности населения потребителей семян кедрового дерева последующее возобновление в усохших кедровых древостоях исключается.

В высокотравных кедровниках Кузнецкого Алатау кедровый подрост отсутствует и следует рекомендовать искусственное возобновление или ждать (20–40 лет), когда произойдет смыкание листового подростка на вырубках и подавление травостоя.

Возможен вариант предварительного возобновления, но также осенью ручной посадкой лесных культур кедрового дерева, крупномером без подготовки почвы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не снижающийся радиальный прирост во время гибели и низкая интенсивность заселения ксилофагами усыхающих кедровников указывают на отсутствие известных в настоящее время физиологических закономерностей массового отпада деревьев. Теоретически можно предположить, что современные кедровники — продукт прежних климатических изменений, и мы наблюдаем смену доминирования древесных пород (Савина, 1976). Кедровники одного поколения достигли предела своей устойчивости и включился механизм их смены, с наложением климатических изменений. В современной истории лесоведения такая высокая активность корневых патогенов, вызывающих массовый отпад кедровых и пихтовых насаждений, встречается впервые, продолжается уже более 10 лет и охватила площадь в тысячи гектаров.

Прогноз возобновления усыхающих кедровников в среднегорной части Западного Саяна и Кузнецкого Алатау резко различается. На первой территории, несмотря на редкие урожаи сосны сибирской, естественное возобновление в большинстве случаев обеспечено за счет формирования предварительного подростка, на второй — в крупнотравных типах гумидного Алатау возобновление сосны сибирской возможно только искусственным путем или естественно через смену древесных пород, но это может задержать возобновление кедрового дерева на 30–50 лет с формированием узкой кроны. Обследование концентрированных вырубок старше 20–30 лет с листовым возобновлением, показало низкую долю кедрового дерева под его пологом. Культуры сосны сибирской, посаженные в бульдозерные площадки, также имели плохую приживаемость из-за вымокания.

В качестве профилактических мер в борьбе с корневыми патогенами следует рекомендовать огневую очистку лесосек с частичным или полным выгоранием подстилки. Это позволит стерилизовать почвенный горизонт от грибных мицелиев до формирования нового мохового покрова (40–50 лет) и спровоцирует кедровку к «восстановлению кедрового дерева».

Рубка древостоя, как и усыхание древостоя с последующим разрастанием травостоя, способствует росту плотности населения потребителей кедровых орехов и соответственно исключает возобновление кедрового дерева. В этих условиях перспективным становится сохранившийся подрост и создание ручным способом лесных культур

тур кедр крупномерным материалом без подготовки почвы.

Следует признать организацию орехопромысловых зон в кедровниках юга Сибири с одновременным запретом рубки кедр (в связи с их массовым усыханием) неудачным производственным экспериментом, который привел к экономическим потерям не только ценной древесины, но и побочного ресурса прижизненного использования насаждений. Задача по сохранению биоразнообразия кедровников, а также их средообразующей роли путем организации орехопромысловых зон в кедровниках юга Сибири не выполнена. Причины подобного явления требуют тщательного изучения, результаты должны найти отражения в нормативных документах и транслироваться на другие регионы с доминированием кедровых насаждений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бажина Е. В., Сторожев В. П., Третьякова И. Н. Усыхание пихтово-кедровых лесов Кузнецкого Алатау в условиях техногенного загрязнения // Лесоведение. 2013. № 2. С. 15–21.
- Владышевский Д. В. Экология лесных птиц и зверей (кормодобывание и его биоценоотическое значение). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 264 с.
- Демидко Д. А. Состояние кедровых древостоев Северо-Восточного Алтая и методы его оценки // Лесоведение. 2011. № 1. С. 19–27.
- Иванов В. А., Иванова Г. А. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 164 с.
- Иванова Г. А., Иванов В. А. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.
- Коновалова М. Е. Восстановительная динамика леса на сплошных вырубках горных кедровников Южной Сибири // Лесоведение. 2015. № 4. С. 267–274.
- Коновалова М. Е., Данилина Д. М., Назимова Д. И. Формирование кедровников рубками ухода в черневом поясе Западного Саяна // Лесоведение. 2017. № 5. С. 16–27.
- Контролируемые выжигания на вырубках в горных лесах / Э. Н. Валендик, В. Н. Векшин, Г. А. Иванова и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 171 с.
- Кошкарлова В. Л., Буренина Т. А., Кошкарлов А. Д., Мурзакматов Р. Т., Фарбер С. К. Оценка устойчивости биоразнообразия высотных поясов гор Западного Саяна (на примере северного макросклона) в условиях меняющегося климата // Экосистемы Центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование: Материалы XIII Убсунур. Междунар. симпоз., Кызыл, 4–7 июля 2016 г. Кызыл: Тув. гос. ун-т, 2016. С. 202–208.
- Лоскутов Р. И. Искусственное восстановление кедров сибирского. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 105 с.
- Лузганов А. Г., Абаимов А. П. Роль речных бассейнов и ветра в расселении и эволюции лиственниц, кедров сибирского и других древесных пород // Лиственница: Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: СибТИ, 1977. Т. 8. С. 31–38.
- Павлов И. Н. Биотические и абиотические факторы усыхания хвойных лесов Сибири и Дальнего Востока // Сиб. экол. журн. 2015. № 4. С. 537–554.
- Павлов И. Н., Барабанова О. А., Онучин А. А., Солдатов В. В. Новая технология осенних посевов сосны кедровой сибирской // Хвойные бореал. зоны. 2009. Т. 26. № 2. С. 211–216.
- Павлов И. Н., Кулаков С. С., Евдокимова Л. С., Кудряцев О. А., Перцова А. А., Кулакова Е. С. Образование и затухание очагов куртинного усыхания сосны обыкновенной в результате воздействия *Armillaria borealis* Marxm. & Korhonen (Сообщ. 2. Закономерности роста) // Хвойные бореал. зоны. 2013. Т. 31. № 1–2. С. 46–53.
- Поляков В. И. Черневые кедровники Западного Саяна: контроль и прогнозирование хода роста. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 181 с.
- Савина Л. Н. Новейшая история лесов Западного Саяна. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 156 с.
- Седых В. Н. Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука, 2009. 164 с.
- Селховкин А. В., Глебов Р. Н., Магдев Н. Г., Ахматович Н. А., Поповичев Б. Г. Оценка роли насекомых и дендропатогенных организмов в усыхании древостоев Ленинградской области и Республики Татарстан // Лесоведение. 2016. № 2. С. 83–95.
- Семечкин И. В. Зависимость возобновления кедров сибирского от урожайности кедровников и численности мышевидных грызунов // Природа и лесная растительность северной части Свердловской области: Сб. науч. тр. Свердловск, 1964. Вып. 1. С. 141–149.
- Семечкин И. В. Структура и динамика кедровников Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 252 с.
- Сташкевич Н. Ю., Шишикин А. С. Зоогенный фактор возобновления сосны кедровой сибирской в горно-таежных лесах Восточного Саяна // Сиб. экол. журн. 2014. Т. 21. № 2. С. 313–318.
- Типы лесов гор Южной Сибири / В. Н. Смагин, С. А. Ильинская, Д. И. Назимова и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 336 с.
- Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1955. 599 с.
- Шишикин А. С., Екимов Е. В., Орешков Д. Н., Углова Е. С. Население мелких млекопитающих вырубков темнохвойных лесов Енисейского края // Лесоведение. 2014. № 6. С. 56–61.
- Pavlov I. N. Biotic and abiotic factors as causes of coniferous forests dieback in Siberia and Far East // Contemp. Probl. Ecol. 2015. V. 8. N. 4. P. 440–456 (Original Rus. Text © I. N. Pavlov, 2015, publ. in Sib. ecol. zhurn. 2015. N. 4. P. 537–554).
- Kharuk V. I., Im S. T., Oskorbin P. A., Petrov I. A., Ranson K. J. Siberian pine decline and mortality in southern Siberian mountains // For. Ecol. Manag. 2013. V. 310. P. 312–320.

## **RESTORATION OF DRYING MOUNTAIN SIBERIAN STONE PINE FORESTS IN SOUTHERN SIBERIA**

**A. S. Shishikin, R. T. Murzakmatov, I. I. Bryukhanov**

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

---

E-mail: shishikin@ksc.krasn.ru, takcator\_m@mail.ru, bryukhanov.ii@ksc.krasn.ru

Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) has three ecological forms, determined by the conditions of renewal and formation of forest stands: renewal of fresh burnt areas, renewal under the canopy of deciduous trees and the formation of the Siberian stone pine undergrowth under the canopy of light coniferous species, but not reaching the top canopy. The first two forms of renewal are observed in ecotopes corresponding to the growing conditions of the Siberian stone pine, but the scenarios for the formation of the forests are different. The study was carried out in two types of forest conditions: the Western Sayan district of mountain-taiga and subgoltsy-taiga Siberian stone pine forests (Abaza forestry district) and the South Khakass district of mountain-taiga dark coniferous forests (Maturskoe and Kop'evskoe forestry district). In Abaza forestry, the average periodicity of fruiting of the Siberian stone pine stands was 5 years, and in the Kuznetsk Alatau - 3 years. Fruiting of the Siberian stone pine is a predictable phenomenon, but the spread and germination of the Siberian stone pine seeds are complex processes associated with zoochoric distribution and the powerful influence of the trophic factor of nut consumers. According to the radial growth of trees, determined from stumps in cutting areas (forest health felling) of the Abaza forestry, Siberian stone pine forests are of pyrogenic origin, have good growth throughout life and dry out without loss of growth. In the modern history of forestry, outbreak activity of root pathogens occurs for the first time. The forecast for the regeneration of drying Siberian stone pine forests in the mid-mountain part of the Western Sayan is positive. In Kuznetsk Alatau, the Siberian stone pine regrowth is insufficient and reforestation in large grass forest types is possible only with a change in species. The cutting of the tree stand, as well as its drying out with the subsequent growth of the grass stand, contributes to an increase in the population density of consumers of the Siberian stone pine nuts and, accordingly, excludes the regeneration of the trees. Preservation of undergrowth in clearings 30 years ago has yielded positive results in the formation of fruit-bearing Siberian stone pine forests. The organization of nut fishing zones with a ban on Siberian stone pine logging and its subsequent drying out led to economic losses of valuable wood and a by-product resource during the lifetime use of the Siberian stone pine stands.

**Keywords:** *mountain Siberian stone pine forests, drying out, restoration, seed bearing, undergrowth, consumers of the Siberian stone pine seeds, Southern Siberia.*

**How to cite:** *Shishikin A. S., Murzakmatov R. T., Bryukhanov I. I. Restoration of drying mountain Siberian stone pine forests in southern Siberia // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 70–78 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 95.765.8(571.150)

**ЯСЕНЕВАЯ ИЗУМРУДНАЯ УЗКОТЕЛАЯ ЗЛАТКА**  
*Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae)  
**НА АЛТАЕ (ЮЖНАЯ СИБИРЬ)**

Ю. Н. Баранчиков<sup>1</sup>, Н. С. Бабичев<sup>1</sup>, Н. Ю. Сперанская<sup>2</sup>, Д. А. Демидко<sup>1</sup>,  
М. Г. Волкович<sup>3</sup>, Л. С. Снигирева<sup>4</sup>, Е. Н. Акулов<sup>5</sup>, Н. И. Кириченко<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>2</sup> Алтайский государственный университет  
656049, Барнаул, пр. Ленина, 61

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН  
199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 1

<sup>4</sup> Алтайский филиал «Центра оценки качества зерна»  
656056, Барнаул, пр. Комсомольский, 80г

<sup>5</sup> Красноярский филиал Всероссийского центра карантина растений  
660020, Красноярск, ул. Желябова, 6/6

E-mail: baranchikov\_yuri@yahoo.com, ny81@bk.ru, speranskaj@mail.ru, sawer\_beetle@mail.ru,  
polycest@zinl.ru, lysnig@yandex.ru, akulich80@yandex.ru, nkirichenko@yahoo.com

Поступила в редакцию 26.08.2024 г.

Ясенева изумрудная узкотелая златка (*Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae)) – агрессивный восточноазиатский инвайдер, уничтоживший миллионы ясеней (*Fraxinus* L.) в Северной Америке и в Восточной Европе. Ученых и практиков волнует продвижение вида на запад, в Центральную Европу. Оказалось, что климатические условия и наличие кормового растения – ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall) – делают возможным существование *A. planipennis* и на юге Сибири. В 2024 г. вредитель был обнаружен в г. Барнауле – административном центре Алтайского края. К августу златка уничтожила почти треть посадок ясеня в городе, и к категории здоровых в настоящее время можно отнести лишь 8 % деревьев. Судя по соотношению возрастов личинок, вид развивается в Барнауле по двухлетней генерации. Паразитированных личинок златки в Барнауле обнаружить не удалось. Это свидетельствует о том, что основной фактор ее контроля в Европе – браконид *Spathius polonicus* Niezabitowski – либо еще не достиг Сибири, либо пока не поднял численность до необходимого уровня. Подчеркивается перспективность интродукции во вторичный ареал златки восточноазиатского паразитоида *Spathius galinae* Belokobylskij et Strazanac – эффективного агента биоконтроля *A. planipennis* – и устойчивого к златке ясеня маньчжурского (*F. mandshurica* Rupr.).

**Ключевые слова:** златка, ЯИУЗ, ясень пенсильванский – *Fraxinus pennsylvanica*, инвазия, Барнаул, Алтайский край.

DOI: 10.15372/SJFS20240508

**ВВЕДЕНИЕ**

Обитатели стволов деревьев (флоэмо- и ксилофаги) составляют основную группу чужеродных лесных видов насекомых, резко расширивших свои вторичные ареалы на всех континентах

планеты (Brockhoff et al., 2006; Aukema et al., 2010; Масляков, Ижевский, 2011; Brown et al., 2015; Musolin et al., 2022). Скрытый образ жизни личинок затрудняет обнаружение таких видов насекомых как фитосанитарными службами при пересечении государственных границ,

© Баранчиков Ю. Н., Бабичев Н. С., Сперанская Н. Ю., Демидко Д. А., Волкович М. Г., Снигирева Л. С., Акулов Е. Н., Кириченко Н. И., 2024

так и озеленителями при перевозке посадочно-го материала из одного региона своей страны в другой. Ярким примером такого насекомого служит ясеневая изумрудная узкотелая златка (*Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Vuprestidae)) (далее ЯИУЗ) – инвазионный вид восточно-азиатского происхождения, завезенный в Северную Америку (Детройт, Мичиган, США) и в Восточную Европу (Москва, Россия) в начале 1990-х годов (Siegert et al., 2014; Баранчиков и др., 2016).

К настоящему времени златка повредила ясени (*Fraxinus* L.) в 36 штатах США и в 6 провинциях Канады, а в Европе она распространилась в 22 субъектах Российской Федерации и в двух областях Украины (Sun et al., 2024). С 2013 г. ЯИУЗ внесена в список А2 Европейской и Средиземноморской организации по карантину растений (Pest..., 2013), а с 2016 г. – в Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза как ограниченно распространенный вид на его территории.

Как показали недавние исследования, регионы Евразии, где климат допускает устойчивое существование златки при наличии как минимум ее кормового растения или, иными словами, её климатический ареал (Семенов и др., 2006), даже до 1999 г. простирался в широтном направлении от побережья Атлантики до юга Западной Сибири (Баранчиков и др., 2024a). Согласно нашему прогнозу, в первой трети XXI в. в связи с потеплением климата ареал златки на востоке достигнет Енисея (Баранчиков и др., 2024б). Благоприятное для развития златки кормовое растение – ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall) – нередко используется в озеленении сибирских населенных пунктов юга Сибири (Чиндяева и др., 2018) и

будет поддерживать распространение ЯИУЗ из Европейской части России за Урал (Баранчиков и др., 2024a, б). Наш прогноз очень быстро подтвердился: в июле 2024 г. сотрудник Алтайского филиала ФГБУ «Центр оценки качества зерна» Л. С. Снигирева собрала жуков ЯИУЗ в г. Барнауле – административном центре Алтайского края. Настоящее сообщение посвящено результатам наших обследований двух самых крупных городов края – Барнаула и Бийска – на предмет наличия ЯИУЗ и степени освоения ясеневых посадок инвазионным вредителем.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обследование городских насаждений с участием ясеня в Барнауле проведено 5–11 августа 2024 г. Н. С. Бабичевым (Институт леса им. В. Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, далее ИЛ СО РАН) и Н. Ю. Сперанской (Алтайский государственный университет, далее АлтГУ). Насаждения г. Бийска 18–19 августа 2024 г. обследовал Д. А. Демидко (ИЛ СО РАН). Сотрудники ИЛ СО РАН ранее имели опыт работы с этим видом вредителя в Европейской части России. Каждое дерево ясеня осматривали и относили к одной из шести категорий состояния. Для оценки состояния использовали шкалу В. А. Алексеева (1989) с нашей небольшой модификацией для ясеня, пораженного златкой (табл. 1).

Координаты местообитаний определяли при помощи сайта Google Планета Земля (2024).

Зараженные златкой деревья кроме усыхающей кроны и массы водяных побегов несли на стволах и ветвях вылетные отверстия жуков. Последние имели характерную форму лежащей на боку латинской буквы D, при этом плоская

**Таблица 1.** Категории состояния ясеня, пораженного златкой

Категория состояния	Описание
I – здоровое дерево	Деревья не имеют внешних признаков повреждения кроны и ствола
II – ослабленное дерево	Снижение густоты кроны на 30 %, сухих ветвей в кроне нет или они единичны
III – сильно ослабленное дерево	Верхняя треть кроны несет до 60 % усохших ветвей
IV – отмирающее дерево	Верхняя часть кроны усохла, в нижней трети кроны – юбка из водяных побегов разного возраста, в средней части кроны видны вылетные отверстия жуков златки, они могут встречаться и в нижней части ствола
V – свежий сухостой	Основной ствол усох, видны свежие (внутренние стенки желтоватые или светло-коричневые) вылетные отверстия текущего сезона, у комля могут быть многочисленные водяные побеги
VI – старый сухостой	На полностью усохшем стволе, часто с отслаивающейся корой видны старые (внутренние стенки темно-серые) вылетные отверстия, водяных побегов у комля нет или их мало



**Рис. 1.** Вылетные отверстия жуков и личиночные ходы ясеновой изумрудной узкотелой златки. (Фото Ю. Н. Баранчикова).

1 – различная ориентация выходных отверстий жуков; 2, 3 – ходы личинок при малой (2) и большой (3) плотности заселения.

сторона отверстия могла быть направлена как вверх, так и вниз, но, как правило, была параллельна земле (рис. 1.1).

Исследовать крону деревьев II–IV категорий состояния в условиях парков и улиц городов не представлялось возможным. По согласованию с владельцами территорий на стволах нескольких деревьев IV–VI категорий была вскрыта кора. Под вылетным отверстием искали характерный широкий извилистый ход личинки златки, плотно забитый светлой буровой мукой (рис. 1.2, 1.3).

Найденных под корой деревьев IV категории состояния личинок златки (рис. 2.2) помещали в 95 % спиртовой раствор. При сборе личинок ЯИУЗ обращали внимание на возможное наличие на них личинок либо коконов эктопаразитов.

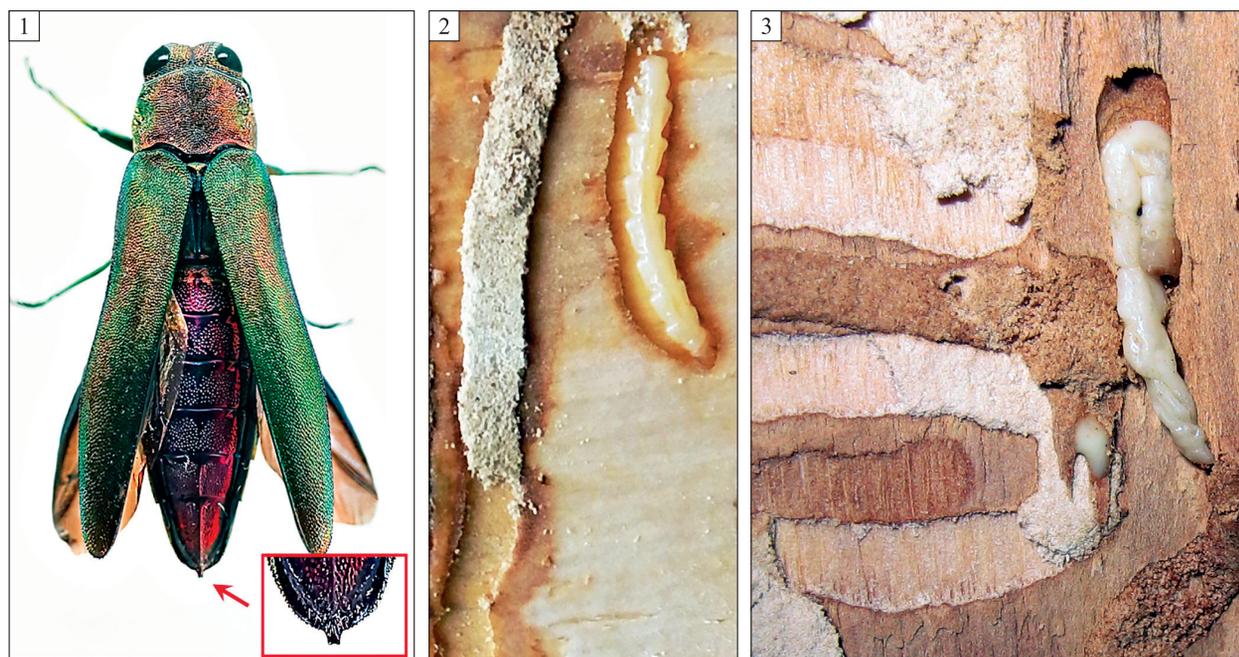
Возраст личинок златки определили в лаборатории по длине тела и размерам сильно хитинизированных частей: перистомы и концевых опорных отростков брюшка (Orlova-Bienkowskaja, Bienkowski, 2016).

Жуки златки были собраны в середине июля 2024 г. сотрудником Алтайского филиала ФГБУ «Центр оценки качества зерна» на улицах Барнаула и переданы во ВНИИКР (Быково, Московская обл.) и нам для подтверждения определе-

ния. Видовая идентификация жуков и личинок проводилась согласно опубликованным руководствам (Chamorro et al., 2015; Volkovitch et al., 2020) и была подтверждена М. Г. Волковичем (ЗИН РАН).

Жуки ЯИУЗ надежно отличаются от других западнопалеарктических видов златок рода *Agrilus* Curtis, в том числе питающихся на ясенях *A. (Agrilus) viridis* (L.) (полифаг) и *A. (Convexagrilus) convexicollis* (Redtenbacher) (олигофаг на Oleaceae), существенно более крупными размерами (длина тела 12–15 мм против 5–9 мм у *A. viridis* и 3.5–5.1 мм у *A. convexicollis*), изумрудно-зеленой окраской надкрылий и бронзово-медной окраской тела, и, главное, наличием вершинного отростка пигидия (последнего тергита брюшка), выступающего за вершины надкрылий и хорошо заметного сверху (рис. 2.1). У других видов, связанных с ясенями, подобный отросток отсутствует.

Личинки всех четырех возрастов ЯИУЗ надежно отличаются от личинок всех других известных видов рода *Agrilus* колоколообразной формой брюшных сегментов 1–7 (рис. 2.2). Описания, диагнозы и иллюстрации яиц, личинок всех возрастов, предкуколки и куколки ЯИУЗ представлены в работе М. L. Chamorro et al. (2012).



**Рис. 2.** Ясеневая изумрудная узкотелая златка. (Фото А. А. Ефременко (2.1) и Ю. Н. Баранчикова (2.2 и 2.3)).  
1 – жук и увеличенный отросток последнего тергита брюшка; 2, 3 – личинка: 2 – III возраста в свежем лубе ясеня, 3 – IV возраста в характерной позе перед зимовкой («J-личинка»).

Для ретроспективного анализа процессов усыхания деревьев ясеня мы используем дендрохронологические методы (Баранчиков и др., 2016; Демидко и др., 2020), однако для экспресс-диагностики вполне применимо использование общедоступных интернет-ресурсов (Баранчиков, 2020а). Мы попытались восстановить динамику отпада погибших точно от златки ясеней в Барнауле при помощи сайтов Google-карты и Яндекс-карты (Как пользоваться..., 2024; Панорамы..., 2024).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В Барнауле и в Бийске посадки ясеня многочисленны, бессистемно разбросаны по районам и состоят исключительно из ясеня пенсильванского. Количество деревьев ясеня в Барнауле в 2003 г. не превышало 1 % от учтенных деревьев в парках города (Сперанская, 2006). В июне–августе 2021 г., по неопубликованным материалам Н. Ю. Сперанской, в состав обследованных 26 тыс. с небольшим деревьев и кустарников вошли лишь 406 деревьев ясеня (т. е. сходные 1.6 %). В Барнауле нами обследовано 28 местообитаний во всех пяти районах города. В их число вошли основные парки (Юбилейный, Лесная сказка, Изумрудный, Нагорный, Центральный) и большинство посадок ясеня

вдоль крупных улиц – Малахова и Павловский тракт, а также во дворах домов и некоторых школ. Общая выборка составила 628 деревьев.

В Бийске обследовано 174 дерева в 21 местообитании, в основном это парки (Победы, Памяти героев ВОВ, имени Л. Гаркавого) и скверы (Иркутский и Центральный, а также имени К. Фомченко, Г. Карпушкина, Ю. Гагарина и П. Мерлина).

В результате обследования можно констатировать удовлетворительное состояние ясеней в Бийске: ослабленные деревья найдены лишь в половине местообитаний, а сильно ослабленные – только в сквере им. Г. Карпушкина, на бульварах им. В. Максимовой и у городского Дворца культуры (табл. 2).

Следов деятельности ясеневой златки не было обнаружено. Напротив, ситуацию с ясенями в Барнауле нужно признать катастрофической. В среднем по городу к категориям отмирающих ясеней, свежему и старому сухостою относятся 30, 21 и 9 % деревьев соответственно (табл. 3). Все они несут вылетные отверстия ясеневой златки и характерные ходы личинок под корой (рис. 1). Лишь 8 % ясеней можно охарактеризовать как здоровые, остальные находятся на разных стадиях ослабления (табл. 3).

Соотношения числа деревьев ясеня разных категорий состояния в пяти парках Барнаула достоверно различны для наших учетов 2024 г.

**Таблица 2.** Категории состояния деревьев ясеня пенсильванского в г. Бийске

Адрес	Географические координаты		Число обследованных деревьев, шт.	Категория состояния
	с. ш.	в. д.		
Площадь Памяти героев ВОВ	52.5402	85.2264	3	II
Парк им. Л. Гаркавого	52.5465	85.2325	4	I
Сквер им. К. Фомченко	52.5498	85.2368	3	I
Парк Победы	52.5371	85.2242	25	I
Угол ул. Советской и пр. Коммунарского	52.5387	85.2224	2	I
Ул. Ленина, 248	52.5412	85.2178	5	I
Ул. Ленина, 260 и 262	52.5376	85.2078	6	I
Петровский бульвар	52.5403	85.2164	25	I
Бульвар им. 50 лет ВЛКСМ	52.5389	85.2157	2	II
Сквер Центральный	52.5408	85.2129	4	I и II
Сквер Иркутский	52.5481	85.2101	8	I и II
Сквер им. Геннадия Карпушкина	52.5501	85.2035	14	I, II и III
Бульвар им. В. Максимовой	52.5342	85.1874	21	I, II и III
Ул. Тараса Шевченко, 45	52.5387	85.1999	1	I
Сквер им. Ю. Гагарина	52.5490	85.1996	5	I и II
Сквер им. П. Мерлина	52.5321	85.1778	2	III
Ул. Приморская, 1/1	52.5125	85.1656	4	I
Ул. Васильева, 30	52.5109	85.1544	9	I и II
Ул. Трофимова, 27 (сквер)	52.5158	85.1596	3	II
Городской Дворец культуры, бульвар	52.5143	85.1450	22	I, II и III
Ул. Воинов-Интернационалистов, 84	52.5150	85.1420	6	I

**Таблица 3.** Места учета и распределение деревьев ясеня пенсильванского по категориям состояния в г. Барнауле, %

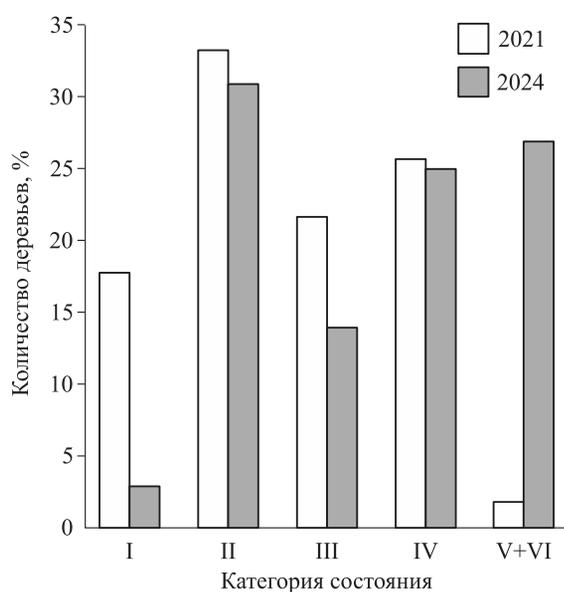
Адрес	Географические координаты		Всего деревьев	Категория состояния					
	с. ш.	в. д.		I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ул. Горноалтайская, 21 (посадки у дома)	53.3711	83.7363	32	0,0	6,3	28,1	25,0	40,6	0,0
Павловский тракт, 326 (посадки у дороги)	53.3402	83.7263	35	74,2	20,0	2,9	2,9	0,0	0,0
Павловский тракт, 211 (посадки на бульваре)	53.3444	83.6694	7	0,0	0,0	14,2	42,9	42,9	0,0
Ул. Малахова, 122 (палисадник)	53.3425	83.6922	9	0,0	0,0	0,0	44,4	55,6	0,0
Павловский тракт, 108 (палисадник)	53.3427	83.6897	24	0,0	0,0	12,5	41,7	37,5	8,3
Павловский тракт, 136 (посадки у дороги)	53.3438	83.6783	14	0,0	0,0	7,2	57,1	21,4	14,3
Павловский тракт, 156 (полисадник)	53.3455	83.6641	1	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Павловский тракт, 164 (посадки у дороги)	53.3458	83.6583	12	41,6	16,7	41,7	0,0	0,0	0,0
Храм Св. Духа (посадки у дороги)	53.3466	83.6488	6	33,3	33,3	16,7	16,7	0,0	0,0
Павловский тракт, 285 (бульвар)	53.3447	83.6638	6	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	50,0
Ул. Попова, 180 (посадки у дома)	53.3441	83.6694	8	0,0	0,0	0,0	37,5	62,5	0,0
Ул. Малахова, 51а (уличные посадки)	53.3675	83.7086	21	0,0	0,0	0,0	9,6	19,0	71,4
Ул. Малахова, 48 (безымянный сквер вдоль улицы)	53.3658	83.7050	104	1,0	0,0	1,0	14,4	54,8	28,8
Парк Юбилейный	53.3700	83.7141	63	3,2	11,1	1,6	61,9	12,7	9,5
Ул. Малахова, 69 (скверик во дворе)	53.3636	83.7050	14	7,2	0,0	21,4	7,1	42,9	21,4
ТК «Огни» (ул. Антона Петрова, 219б, уличные посадки)	53.3594	83.6975	29	0,0	13,8	13,8	34,5	31,0	6,9
Парк «Лесная сказка»	53.3552	83.6830	6	0,0	0,0	0,0	16,7	83,3	0,0

## Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сквер Зелёный (площадь Октябрьская)	53.3575	83.7677	66	0,0	3,0	30,3	60,6	0,0	6,1
Ул. Калинина, 8 (уличные посадки)	53.3575	83.7702	3	0,0	0,0	33,3	66,7	0,0	0,0
Парк Изумрудный	53.3583	83.7816	21	0,0	14,4	9,5	47,6	19,0	9,5
Ул. Строителей / ул. Ленина (посадки посреди дороги)	53.3533	83.7708	7	0,0	71,4	0,0	28,6	0,0	0,0
Павловский тракт, 68 (школа № 102, двор)	53.3441	83.7038	143	0,0	1,4	0,0	41,2	28,7	28,7
Парк Нагорный	53.3241	83.7952	7	0,0	42,9	57,1	0,0	0,0	0,0
Парк Центральный	53.3286	83.7900	8	12,5	87,5	0,0	0,0	0,0	0,0
За мостом у Оби, пойма	53.3238	83.8088	6	50,0	33,3	16,7	0,0	0,0	0,0
Ул. Рыбзаводский проезд, 28 (уличные посадки)	53.3397	83.7305	4	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Ул. Фурманова, 14 (школа № 10, двор)	53.3391	83.7319	14	0,0	14,3	21,4	42,9	0,0	21,4
Ул. Калинина, 6 (посадки у дороги)	53.3530	83.7711	12	0,0	0,0	0,0	83,3	16,7	0,0

и опубликованных ранее (Сперанская и др., 2022) учетов 2021 г. (рис. 3).

Анализ распределения деревьев по категориям состояния с помощью критерия хи-квадрат (Рунион, 1982) показал, что уровень значимости различий между распределениями 2021 и 2024 гг. значительно ниже любого общепринятого ( $p < 2.8 \times 10^{-13}$ ,  $\chi^2 = 64.3$ ). По данным Н. Ю. Сперанской с соавт. (2022), деревья свежего и старого сухостоя в насаждениях ясеня в городе не превышали 2 %, в то время как в настоящее время к ним можно отнести почти треть деревьев.



**Рис. 3.** Распределение деревьев ясеня пенсильванского по категориям состояния в пяти парках г. Барнаула по результатам учетов 2021 г. (учтено 226 деревьев (Сперанская и др. 2022) и 2024 г. (учтено 105 деревьев).

Для выявления динамики отпада ясеней наиболее информативным для наших целей оказался онлайн-сервис Яндекс-панорамы (Панорамы..., 2024). Там содержатся результаты панорамной съемки улиц Барнаула за 2023, 2020, 2017 и 2014 гг. (Google снимал улицы города лишь в 2018–2012 гг.). Съемка в 2023 г. была проведена ранней весной, и листва даже на здоровых деревьях ясеня не успела раскрыться. В остальные годы съемка проходила в летние месяцы.

Нам удалось провести реконструкцию состояния усохших к 2024 г. ясеней в пяти местообитаниях. Во всех случаях состояние их крон можно характеризовать как «здоровое» еще в 2020 г. (рис. 4, 5).

В 2021 г. сотрудниками АлтГУ при разработке общегородского проекта «Барнаул – зеленый город» проведено обследование 26 235 деревьев и кустарников на 10 улицах, в 6 скверах и 6 парках Барнаула.

Из 406 деревьев ясеня пенсильванского, найденных на 13 объектах, деревья IV категории состояния обнаружены лишь на четырех (Павловский тракт, проспект Космонавтов, ул. Аванесова и парк Изумрудный). В сквере Химиков были найдены следы от спиленных стволов ясеней. На других объектах сухостойных ясеней не зарегистрировано (Н. Ю. Сперанская, неопубликованные данные).

Перечисленные факты свидетельствуют о начале идущей в Барнауле вспышке массового размножения ясеневой златки в 2022–2023 гг.

По свидетельству некоторых авторов, видимое резкое увеличение количества усохших ясеней наблюдают в среднем через 10 лет после появления этого вредителя или после его



Рис. 4. Ясень пенсильванский, г. Барнаул, ул. Малахова, 48.

а – 2024 г. (фото Н. Ю. Сперанской); б – 2020 г., скриншот с сайта Яндекс-панорамы. Реперные объекты: дорожный знак и столб.



Рис. 5. Ясень пенсильванский, г. Барнаул, сквер на перекрестке ул. Шумакова и Павловского тракта.

а – 2024 г. (фото Н. Ю. Сперанской); б – 2020 г. (скриншот с сайта Яндекс-панорамы). Реперные объекты: дорога и тропинка.

10 поколений в новом местообитании (Polland, McGullough, 2006; и др.). Однако, если учесть, что генерация златки в Барнауле длится 2 года (Волкович, Мозолевская, 2014; Баранчиков и др., 2016), то этот срок нужно увеличить минимум до 15 лет, т. е. златка была завезена в Барнаул где-то около 2010 г., как раз в период ее массового размножения в Москве – эпицентре ее будущего распространения в Европейской части России.

Исходя из соотношения личинок II, III и IV возрастов (соответственно 8, 46 и 46 %), златка в Барнауле развивается по двухлетнему циклу и зимует во II–III и в IV возрастах. Процесс ухода взрослых личинок в древесину для зимовки в начале августа только начался – нам встретилась только одна готовая к зимовке личинка в «J-фазе», с подвернутым назад передними сегментами тела (рис. 2.3). Такая необычная поза зимовки, на наш взгляд, объясняется следующим образом. Перед зимовкой личинка IV возраста выгрызает в ксилеме вплотную к нижним слоям коры куколочную камеру, несколько более широкую, чем собственно галерея. Далее личинка продолжает ход, прогрызая сквозь кору выход для будущего жука, оставляя нетронутой внешнюю часть коры, толщиной не более

2–3 мм. Двигаться назад личинка не может, так как галерея сзади плотно забита буровой мукой.

Тогда она складывается почти пополам, заворачивая несколько передних сегментов вдоль тела назад (рис. 2.3). Таким образом, она убирает свое тело подальше от яйцекладов возможных паразитоидов и, что, наверное, более важно, создает своеобразную воздушную пробку между куколочной камерой и поверхностью коры. Она позволит в дополнение к согревающему действию коры (разница между внешней температурой и температурой под корой ясеня с северной стороны ствола зимой может достигать 4° (Vermunt et al., 2012) снизить влияние холодных температур во время зимовки. Отродившийся из куколки весной жук обычно без проблем прогрызает выход наружу.

Важно отметить, что нам не удалось найти в Барнауле паразитированных личинок златок. Одним из существенных факторов ограничения численности инвайдера в Европейской части России является местный эктопаразитоид личинок ЯИУЗ – браконид (*Spathius polonicus* Niezabitowski) (Hymenoptera: Braconidae: Doryctinae) (Orlova-Bienkowskaja, Belokobylskij, 2014). Этот достаточно широкий полифаг, по-видимо-

му, переключился во вторичном ареале златки на новую обильную жертву.

В Северной Азии этот браконид не известен (Belokobylskij, 2003). Если златка попала на Алтай с посадочным материалом, то не исключена совместная интродукция ее с этим паразитоидом, и для увеличения его численности просто нужно время. По крайней мере, в Европе *S. polonicus* начал контролировать златку лишь через 20–25 лет после ее появления там. На наш взгляд, для применения классического биологического контроля необходима интродукция более эффективного паразитоида златки с ее родины – российского Дальнего Востока. Такой вид паразитоида, недавно открытый для науки, – браконид спатиус Галины (*Spathius galinae* Belokobylskij et Strazanac) (Belokobylskij et al., 2012) – с 2016 г. с успехом используется в северных районах США, на 60 % снижая там численность ЯИУЗ в молодых посадках ясеней (Duan et al., 2023). Небольшая фабрика по производству паразитоидов златки в г. Брайтон (Brighton, Michigan) ежегодно производит для выпуска до 0.5 млн особей *S. galinae* (Duan et al., 2019). Главным доводом в пользу широкого использования *S. galinae* как агента биологического контроля ЯИУЗ не только в США и Канаде, но и, возможно, в странах Евразии служит его узкая трофическая специализация (в отличие от упомянутого выше европейского полифага *S. polonicus*) (Баранчиков, 2020б). Тут надо добавить, что местные 17 видов паразитоидов, найденные на личинках и яйцах златки в США, оказались малоэффективными (Taylor et al., 2012; Баранчиков, 2013).

Вызывает удивление отсутствие даже попыток использования в озеленении российских городов устойчивого к златке ясеня маньчжурского (*Fraxinus mandshurica* Rupr.). Этот ясень почти полвека успешно культивируется в сибирских ботанических садах и питомниках; его цветки и листья лишь изредка повреждались весенними заморозками на Алтае – в Барнауле и Горно-Алтайске (Лучник, 1970), в Омске и Новосибирске (Встовская и др., 2017). В Абакане и Красноярске, напротив, таких повреждений за 40 лет культивирования не наблюдалось (Лиховид, 2007; Седаева, 2023). При проникновении ЯИУЗ в коллекцию ясеней Главного ботанического сада РАН в Москве от вредителя не пострадали лишь дальневосточные виды – ясени маньчжурский и китайский (*F. chinensis* Roxb.) (Баранчиков и др., 2014). Последний вид, однако, существенно менее устойчив к заморозкам, чем ясень маньчжурский.

Авторы выражают признательность руководству школы № 102 г. Барнаула за содействие в обследовании ясеней на школьной территории, а также А. А. Ефременко за фото имаго ЯИУЗ.

Исследование поддержано средствами гранта РФФИ (№ 22–16–00075) (полевые сборы), а также государственных тем ИЛ СО РАН FWES–2024–0029 и ЗИН РАН № 122031100272–3 (лабораторные исследования).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Баранчиков Ю. Н. Биологические методы контроля ясеневой узкотелой златки: виден свет в конце тоннеля // Защита леса – инновации во имя развития: Бюл. Пост. Комис. ВПРС МОББ по биол. защите леса. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. Вып. 9. С. 18–24.
- Баранчиков Ю. Н. Датировка начала инвазии *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Vuprestidae) в Санкт-Петербург с помощью интернет-технологий // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI чтения памяти О. А. Катаева). СПб: СПбГЛТУ, 2020а. С. 70–71.
- Баранчиков Ю. Н. Две Галины и спасение ясеней на планете (памяти Галины Ивановны Юрченко, 1937–2020 гг.) // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI чтения памяти О. А. Катаева). СПб: СПбГЛТУ, 2020б. С. 41–42.
- Баранчиков Ю. Н., Демидко Д. А., Звягинцев В. Б., Серая Л. Г. Ясеновая узкотелая златка в Москве: дендрохронологическая реконструкция хода инвазии // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы II Всерос. науч. конф. с междунар. участ., Москва, 25–27 октября 2016 г. М., 2016. С. 23–24.
- Баранчиков Ю. Н., Добролюбов Н. Ю., Семенов С. М. Изменение климатического ареала ясеневой узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Vuprestidae) в Северном полушарии // Рос. журн. биол. инваз. 2024а. № 3. С. 3–12.
- Баранчиков Ю. Н., Добролюбов Н. Ю., Семенов С. М. Климатический ареал ясеневой узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Vuprestidae) в Евразии // XII чтения памяти О. А. Катаева. СПб.: СПбГЛТУ им. С. М. Кирова, 2024б. С. 12–13.
- Баранчиков Ю. Н., Серая Л. Г., Гринаш М. Н. Все виды европейских ясеней неустойчивы к узкотелой златке *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera, Vuprestidae) – дальневосточному инвайдеру // Сиб. лесн. журн. 2014. № 6. С. 80–85.
- Волкович М. Г., Мозолевская Е. Г. Десятилетний «юбилей» инвазии ясеневой изумрудной узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairm. (Coleoptera: Vuprestidae) в России: итоги и перспективы // Изв. СПбЛТА. 2014. Вып. 207. С. 8–19.
- Встовская Т. Н., Коропачинский И. Ю., Киселева Т. И., Горбунов А. Б., Каракулов А. В., Лантева Н. П. Интродукция древесных растений в Сибири. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2017. 716 с.

- Демидко Д. А., Серая Л. Г., Ефременко А. А., Баранчиков Ю. Н. Реконструкция динамики инвазии ясеновой изумрудной узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) в Твери // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI чтения памяти О. А. Катаева). СПб: СПбГЛТУ, 2020. С. 143–144.
- Как пользоваться просмотром улиц на Google картах. Google LLC, 2024. <https://wer/3093484?hl=ru&co=GENIE.Platform%3DAndroid>
- Лиховид Н. И. Интродукция древесных растений в аридных условиях юга Средней Сибири. Абакан: Март, 2007. 288 с.
- Лучник З. И. Интродукция деревьев и кустарников в Алтайском крае. М.: Колос, 1970. 656 с.
- Масляков В. Ю., Ижевский С. С. Инвазии растительноядных насекомых в Европейскую часть России. М.: Ин-т геогр. РАН, 2011. 272 с.
- Панорамы. Яндекс Справка. Яндекс. 2024. <https://yandex.ru/support/navigator/panoramas.html>
- Рунион Р. П. Справочник по непараметрической статистике: Современный подход. М.: Финансы и статистика, 1982. 198 с.
- Седаева М. И. Интродукция растений родов форзиция и ясень в дендрарии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН // Сиб. лесн. журн. 2023. № 5. С. 83–90.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С. Выявление климатогенных изменений. М.: Изд. центр «Метеорология и гидрология», 2006. 324 с.
- Сперанская Н. Ю. Деревья и кустарники зеленых насаждений Барнаула // Изв. Алтай. гос. ун-та. 2006. № 3 (41). С. 91–93.
- Сперанская Н. Ю., Жембровская Т. А., Лященко А. Д., Перова Е. Д. Жизненное состояние древесных растений парков г. Барнаула // От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК. Екатеринбург: УралГАУ, 2022. С. 88–90.
- Чиндяева Л. Н., Томошевич М. А., Беланова А. П., Бананев Е. В. Древесные растения в озеленении сибирских городов. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2018. 457 с.
- Aukema J. E., McCullough D. G., Holle B. von, Liebhold A. M., Britton K., Frankel S. J. Historical accumulation of non-indigenous forest pests in the continental United States // BioScience. 2010. V. 60. Iss. 11. P. 886–897.
- Belokobylskij S. A. The species of the genus *Spathius* Nees, 1818 (Hymenoptera: Braconidae: Doryctinae) not included in the monograph by Nixon (1943) // Ann. Zool. 2003. V. 53. Iss. 3. P. 347–488.
- Belokobylskij S. A., Yurchenko G. I., Strazanac J. S., Zaldivar-Riveron A., Mastro V. A new emerald ash borer (Coleoptera, Buprestidae) parasitoid species of *Spathius* Nees (Hymenoptera: Braconidae: Doryctinae) from the Russian Far East and South Korea // Ann. Entomol. Soc. Amer. 2012. V. 105. Iss. 2. P. 165–178.
- Brockhoff E. G., Liebhold A. M., Jactel H. The ecology of forest insect invasions and advances in their management // Can. J. For. Res. 2006. V. 36. N. 2. P. 263–268.
- Brown N., Inward D. J. G., Jeger M., Denman S. A review of *Agrilus biguttatus* in UK forests and its relationship with acute oak decline // Forestry. 2015. V. 88. Iss. 1. P. 53–63.
- Chamorro M. L., Jendek E., Haack R. A., Petrice T., Woodley N. E., Konstantinov A. S., Volkovitch M. G., Yang X.-K., Grebennikov V. V., Lingafelter S. W. Illustrated guide to the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire and related species (Coleoptera, Buprestidae). Sofia; Moscow: Pensoft Publ., 2015. 197 p.
- Chamorro M. L., Volkovitch M. G., Poland T. M., Haack R. A., Lingafelter S. W. Preimaginal stages of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae): an invasive pest on ash trees (*Fraxinus*) // PLoS ONE. 2012. V. 7. Iss. 3. Article 33185. 12 p.
- Duan J. J., Gould J. R., Slager B. H., Quinn N. F., Petrice T. R., Poland T. M., Bauer L. S., Rutledge C. E., Elkinton J. S., Driesche R. van. Progress toward successful biological control of the invasive emerald ash borer in the United States In: Contributions of classical biological control to the U.S. food security, forestry, and biodiversity / R. G. Van Driesche, R. L. Winston, T. M. Perring, and V. M. Lopez (Eds.). FFAAST-2019-05. Morgantown, West Virginia, USA: USDA For. Serv., 2019. P. 232–250.
- Duan J. J., Schmude J. M., Petrice T. R., Bauer L. S., Poland T. M., Chandler J. L., Crandall R., Elkinton J. S., Driesche R. van. Successful establishment, spread, and impact of the introduced parasitoid *Spathius galinae* (Hymenoptera: Braconidae) on emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) populations in postinvasion forests in Michigan // J. Econ. Entomol. 2023. V. 116. Iss. 5. P. 1518–1528.
- Google Earth, 2024. <https://earth.google.com/web/>
- Musolin D. L., Kirichenko N. I., Karpun N. N., Aksenenko E. V., Golub V. B., Kerchev I. A., Mandelstam M. Y., Vasaitis R., Volkovitch M. G., Zhuravleva E. N., Selikhovkin A. V. Invasive insect pests of forests and urban trees in Russia: origin, pathways, damage, and management // Forests. 2022. V. 13. Iss. 4. 521. Article 521. 60 p.
- Orlova-Bienkowskaja M. J., Belokobylskij S. A. Discovery of the first European parasitoid of the emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) // Europ. J. Entomol. 2014. V. 111. Iss. 4. P. 594–596.
- Orlova-Bienkowskaja M. J., Bienkowski A. O. The life cycle of the emerald ash borer *Agrilus planipennis* in European Russia and comparisons with its life cycles in Asia and North America // Agr. For. Entomol. 2016. V. 18. Iss. 2. P. 182–188.
- Pest risk analysis for *Agrilus planipennis*. EPP0, Paris. 2013. 68 p. file:///C:/Users/user/Documents/Downloads/prafull\_AGRLPL.pdf
- Poland T. M., McCullough D. G. Emerald ash borer: invasion of the urban forest and the threat to North America's ash resource // J. For. 2006. V. 104. Iss. 3. P. 118–124.
- Siegert N. W., McCullough D. G., Liebhold A. M., Telewski F. W. Dendrochronological reconstruction of the epicentre and early spread of emerald ash borer in north America // Divers. Distrib. A. J. Conserv. Biogeogr. 2014. V. 20. Iss. 7. P. 847–858.
- Sun J., Koski T. M., Wickham J. D., Baranchikov Yu. N., Bushley K. E. Emerald ash borer management and research: decades of damage and still expanding // Ann. Rev. Entomol. 2024. V. 69. Iss. 1. P. 239–258.
- Taylor P. B., Duan J. J., Fuester R. W., Hoddle M., Driesche R. van. Parasitoid guilds of *Agrilus* woodborers (Coleoptera: Buprestidae): their diversity and potential for use in biological control // Psyche. A J. Entomol. 2012. V. 33. N. 2615. Article 813929. 10 p.

Vermunt B., Cuddington K., Sobek-Swant S., Crosthwaite J. C., Lyons D. B., Sinclair B. J. Temperatures experienced by wood-boring beetles in the under-bark microclimate // For. Ecol. Manag. 2012. V. 269. P. 149–157.

Volkovitsh M. G., Orlova-Bienkowskaja M. J., Kovalev A. V., Bieńkowski A. O. An illustrated guide to distinguish emerald ash borer (*Agrilus planipennis*) from its congeners in Europe // Forestry. 2020. V. 93. Iss. 10. P. 316–325.

## EMERALD ASH BORER *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) IN ALTAI (SOUTHERN SIBERIA)

Yu. N. Baranchikov<sup>1</sup>, N. S. Babichev<sup>1</sup>, N. Yu. Speranskaya<sup>2</sup>, D. A. Demidko<sup>1</sup>, M. G. Volkovich<sup>3</sup>, L. S. Snigireva<sup>4</sup>, E. N. Akulov<sup>5</sup>, N. I. Kirichenko<sup>1, 5</sup>

<sup>1</sup> V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

<sup>2</sup> Altai State University  
Prospekt Lenina, 61, Barnaul, 656049 Russian Federation

<sup>3</sup> Zoological Institute, Russian Academy of Sciences  
Universitetskaya Naberezhnaya, 1, Saint–Petersburg, 199034 Russian Federation

<sup>4</sup> Altai Branch of the Centre for Grain Quality Assurance  
Prospekt Komsomol'skiy, 80g, Barnaul, 656056 Russian Federation

<sup>5</sup> Krasnoyarsk Branch of the All–Russian Center for Plant Quarantine  
Zhelyabova str., 6/6, Krasnoyarsk, 660020 Russian Federation

E-mail: baranchikov\_yuri@yahoo.com, ny81@bk.ru, speranskaj@mail.ru, sawer\_beetle@mail.ru, polycest@zinl.ru, lysnig@yandex.ru, akulich80@yandex.ru, nkirichenko@yahoo.com

Emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae)) is an aggressive East Asian invader that has destroyed millions of ash (*Fraxinus* L.) trees in North America and Eastern Europe. Researches and practitioners are concerned about ongoing westward distribution of the species into Central Europe. In addition to that, the invasion of this buprestid to Siberia is also not ruled out bearing in mind suitable climatic conditions, particularly on the south, and the presence its favorable host plant, the green ash (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall). In 2024, the pest has been detected in Barnaul, the administrative center of Altai Krai. By August, the beetle destroyed almost 30 % of ash trees in the city and only 8 % of trees looked healthy. Based on the ratio of larval instars, the pest develops two years per generation in Barnaul. No parasitized larvae of *A. planipennis* was documented in Barnaul suggesting that the parasitoid, the braconid *Spathius polonicus* Niezabitowski, which controls this buprestid in Europe, either has not yet appeared in Siberia or remains at a low, undetectable, density. The prospects of introduction of the East Asian parasitoid *Spathius galinae* Belokobylskij et Strazanac (the most effective biocontrol agent of *A. planipennis* at its primary range) and the Manchurian ash (*F. mandshurica* Rupr.) (the resistant host) to the secondary pest range are emphasized.

**Keywords:** buprestid, EAB, ash trees, green ash, *Fraxinus pennsylvanica*, invasion, Barnaul, Altai Krai.

**How to cite:** Baranchikov Yu. N., Babichev N. S., Speranskaya N. Yu., Demidko D. A., Volkovich M. G., Snigireva L. S., Akulov E. N., Kirichenko N. I. Emerald ash borer *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) in Altai (Southern Siberia) // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 79–88 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*160.2:582.76/77

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСТИЛКИ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ С УЧАСТИЕМ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО

О. Л. Цандекова

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН  
650065, Кемерово, пр. Ленинградский, 10

E-mail: zandekova@bk.ru

Поступила в редакцию 27.03.2024 г.

Представлены результаты исследования влияния сомкнутости крон популяции клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на формирование подстилки лесных фитоценозов. Объектами исследования служили лесные подстилки, сформированные под естественными насаждениями клена ясенелистного на территории заброшенных пахотных земель в пределах г. Кемерово. Проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Аналитические пробы образцов высушивали до воздушно-сухого состояния, взвешивали с определением доли каждой растительной фракции (листья, травы, ветки) и определяли запасы подстилки на абсолютно сухую массу. Из образцов подстилки с учетом горизонтов A0L и A0F, отобранных в насаждениях клена ясенелистного на каждой площадке, готовили средний образец, в котором определяли зольность путем сухого озоления в муфельной печи при 400–500 °С по ГОСТ 24027.2-80 и содержание азота – по методу Кьельдаля. Выявлено, что на формирование подстилки лесных фитоценозов оказывает влияние сомкнутость крон популяции клена ясенелистного, а также содержание минеральных и органических соединений растительного опада. В составе подстилки в фитоценозах преобладал слой ферментации из не полностью разложившихся, морфологически идентифицируемых растительных остатков с повышенным содержанием азота и зольности в сравнении с вышележащим слоем. В подкрановом пространстве клена ясенелистного растительные остатки располагались по содержанию химических соединений в убывающем порядке: листья > ветки > травы. Наиболее интенсивной минерализацией опада обладали деревья в несомкнутых древостоях, вероятно, за счет более высокого накопления фитомассы и химических соединений по сравнению с деревьями других исследуемых групп. Результаты исследования могут быть использованы для мониторинга природных экосистем.

**Ключевые слова:** растительный опад, *Acer negundo* L., фитомасса, зола, азот, фитоценоз.

DOI: 10.15372/SJFS20240508

### ВВЕДЕНИЕ

Лесная подстилка служит главным источником элементов питания для растений. Формирование подстилки и ее деструкция зависят от структуры насаждений, породного состава и лесорастительных условий. В Кемеровской области происходит активное внедрение в естественные и антропогенно нарушенные лесные сообщества агрессивного инвазионного вида – клена ясенелистного (*Acer negundo* L.). Он образует густой подлесок, способствует изменениям микроклимата, оказывает существенное влияние на растительность нижних ярусов, а в отдельных

случаях вытесняет аборигенные виды природной флоры. Под его кроной формируется значительное количество подстилки, вместе с которой в почву возвращаются химические соединения, принадлежащие к различным классам (Гродзинский, 1965; Turk et al., 2008; Решетникова, 2011; Овчаренко, Кузьмичев, 2013). По данным многочисленных исследований, биохимический состав растительного опада является ключевым фактором, определяющим скорость разложения лесных подстилок (Кузнецов, 2010; Тарасов и др., 2015; Цандекова, 2019; Lucas-Vorja et al., 2019; Иванова, 2021). На начальном периоде разрушения опада происходит разложение лег-

корастворимых и подвижных соединений, затем биохимические процессы замедляются. Высокое содержание легкоразлагаемых водорастворимых органических соединений благоприятствует быстрой минерализации растительного опада (Hunt et al., 2008; Шелепова, Возна, 2016; Чульдиене и др., 2017; Chul'diene et al., 2017). Опад, богатый азотом, быстро разлагается (Tashe, Schmidt, 2001; Polyakova, Billor, 2007; Vesterdal et al., 2008), бедный минеральными элементами листовый опад, напротив, формирует медленно разлагающиеся лесные подстилки (Walela et al., 2014). Показатель содержания зольности важен как в аспекте химизма растений, так и с позиций поступления минеральных веществ из фитомассы в прочие компоненты экосистемы (Husmann et al., 2018). В связи с вышеизложенным, целью наших исследований было изучение особенностей формирования подстилки лесных фитоценозов с участием клена ясенелистного в условиях Кемеровской области.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования служили лесные подстилки, сформированные под естественными насаждениями клена ясенелистного на территории заброшенных (более 25 лет) пахотных земель в пределах г. Кемерово (55°29'29" с. ш., 86°13'10" в. д.). Структура насаждений мозаичная, площадь массива с доминированием клена ясенелистного составляла около 15 % от общей, остальная территория занята куртинами тополя черного (*Populus nigra* L.), ивы прутовидной (*Salix viminalis* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth), черемухи обыкновенной (*Padus avium* L.). Почвы участка представлены черноземом выщелоченным.

Образцы отбирали на площадках наблюдений (пн) под кроной клена ясенелистного из расчета ее сомкнутости: 1 (пн 1) – несомкнутые древостои (30 %); 2 (пн 2) – древостои со средней сомкнутостью крон (60 %); 3 (пн 3) – древостои с высокой сомкнутостью крон (90 %). В качестве контроля выбраны естественные насаждения деревьев вне проекции кроны (пн к). Возраст насаждений клена ясенелистного составлял 25–30 лет, средняя высота в древостоях – 12–14 м, с широкой раскидистой кроной диаметром 10–12 м. Живой напочвенный покров на пробных площадках образован разнотравно-злаковым сообществом с доминиро-

ванием крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.) с общим проективным покрытием (ОПП) 20–90 %.

Образцы отбирали в вегетационный период (май, июль, сентябрь) 2021–2023 гг. Наиболее влажным характеризовался 2021 г. (ГТК = 1.69), теплым – 2022 г. (ГТК = 0.78). В начале вегетации (в мае) преобладала очень теплая, со значительным недобором осадков погода. Среднемесячная температура воздуха составила 18–20 °С, что на 5–6 °С выше нормы. Осадков выпало в среднем 11–13 мм (48–52 % от нормы). В июле и августе наблюдалась неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры и обильными осадками. Среднемесячная температура воздуха составила 11–18 °С, что на 1–2 °С ниже нормы. Осадков выпало 67–174 % от нормы.

На каждой учетной площадке проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Отбор подстилок проводили в десятикратной повторности на площадках размером 30 × 60 см, на всю глубину подстилок до начала почвенного горизонта, который устанавливался по наличию минерального субстрата. Образцы разбивались на фракции с учетом их генетического строения: а) морфологически хорошо сохранившиеся, слабо затронутые разложением остатки опада, представляющие в сумме слой А0L; б) растительные остатки, которые оставались на сите с диаметром ячеек 2 мм после отбора компонентов верхнего слоя, оставшиеся фракции представляли собой ферментированные, в разной степени затронутые разложением, компоненты слоя А0F; в) гумифицированные, сильно преобразованные растительные остатки, трудно диагностируемые, относились к слою А0Н. В насаждениях клена ясенелистного отчетливо выделялся верхний слой А0L, остальная растительная масса, в разной степени трансформированная процессами разложения, диагностировалась как А0F + А0Н. Фракции подстилок высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались с установлением доли растительной фракции (листья, травы, ветки) и определяли запасы подстилки на абсолютно сухую массу. Из 10 образцов подстилки с учетом горизонтов А0L и А0F, отобранных в насаждениях клена ясенелистного на каждой площадке, готовился средний образец, в котором определяли зольность (общая зола) путем сухого

озоления в муфельной печи при 400–500 °С по ГОСТ 24027.2-80 (1981) и содержание азота – по методу Къельдаля (Минеев и др., 2001). Повторность всех опытов – трехкратная с каждой учетной площадки. Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнялись с помощью стандартного пакета программ StatSoft Statistica 8.0. for Windows и Microsoft Office Excel 2007.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В подкрановом пространстве клена ясенелистного на исследуемых площадках отмечена горизонтальная дифференциация растительного покрова. Общее проективное покрытие в несомкнутых древостоях составляло 40–95 % с доминированием крапивы двудомной, мятлика лугового, пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski), тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.). В древостоях со средней сомкнутостью крон (ОПП 20–65 %) доминантами выступали хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.) (10 %) и мятлик луговой (50 %). В насаждениях с высокой сомкнутостью крон (ОПП 50 %) доминировали собственный самосев клена ясенелистного (15 %) и хмель обыкновенный (25 %).

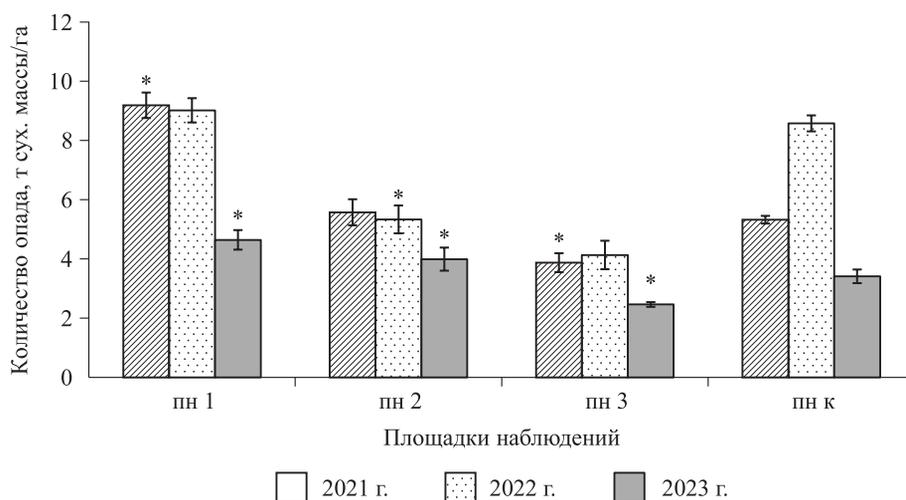
Основным источником формирования подстилки в насаждениях клена ясенелистного служат ежегодно опадающие фракции фитомассы древостоев. На обследованных участках интенсивность опада верхнего (A0L) горизонта изменялась от 2.46 до 9.18 т/га (рис. 1).

В 2022 г. масса опада была выше в 1.1–1.9 раз, чем в другие годы. Можно предположить, что наиболее благоприятные гидротермические условия 2022 г. способствовали развитию листового аппарата растений, который составлял значительную часть массы опада. Отличительной характеристикой опада в несомкнутых древостоях на пн 1 служил высокий уровень ее фитомассы – 4.64–9.18 т/га, что больше в 1.1–1.7 раз, чем в контроле. У деревьев с высокой сомкнутостью крон отмечен низкий уровень накопления опада, особенно в 2023 г. (2.46 т/га), что ниже на 28 % относительно контроля.

Учет запасов всех горизонтов и состава подстилки показал, что в насаждениях клена ясенелистного ее масса изменялась от 9.27 до 11.59 т/га (рис. 2).

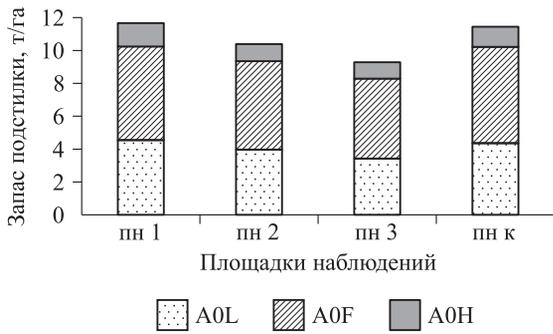
В составе подстилки на растительные остатки верхнего слоя A0L приходилось от 37 до 40 % ее общей массы. Преобладающим в составе подстилок в древесных насаждениях являлся слой ферментации (A0F), который состоял из не полностью разложившихся, морфологически идентифицируемых остатков растительного происхождения. Его доля составила 48–52 % массы подстилки с максимумом у деревьев с высокой сомкнутостью крон. Почти полностью разложившаяся масса растительных остатков слоя гумификации не превышала 11 % общего запаса подстилок на всех исследуемых площадках.

Анализ фракционного состава подстилки в горизонтах A0L и A0F в древостоях с различной сомкнутостью крон характеризовался преобладанием фракции листьев, доленое участие



**Рис. 1.** Количество растительного опада за вегетационный период на исследуемых площадках.

\* Различия с контролем статистически значимы при  $p < 0.05$ .



**Рис. 2.** Запасы подстилки на исследуемых площадках.

которых составляло в среднем 77–86 % за вегетацию, что обуславливает наибольшие запасы легкоразлагаемых компонентов (рис. 3).

Доля ветвей на площадках варьировала в среднем от 11.4 до 22.6 %, травянистых растений – от 0.9 до 2.5 %. В мае отмечены максимальные значения листовых фракций в подстилке (в среднем 81–91 %), в июле – мелких веток и травы (17.2–29.2 и 1.5–3 % соответственно).

В процессе старения листьев и формирования растительного опада происходит реутилизация азотсодержащих веществ растением. Это может объясняться иммобилизацией азота на ранних стадиях разложения подстилки (Xie et al., 2004; Piatek et al., 2010). Наши данные показали, что у исследуемых образцов в течение вегетации количество азота в подстилке в слое A0L составляло в среднем 0.76–2.22 %, в A0F – 1.01–2.55 % (рис. 4).

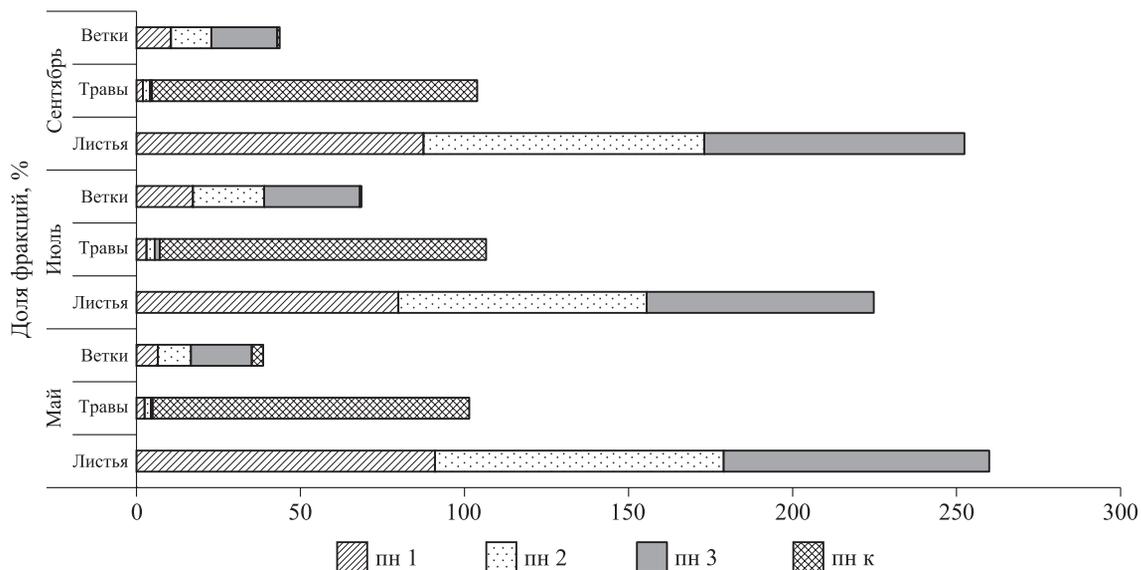
На всех пробных площадках у деревьев отмечен наиболее высокий уровень общего азота

в мае, минимальный – в июле. Содержание общего азота в образцах определялось основной фракцией, входящей в подстилку.

Концентрация азота в подстилке A0L слоя, формирующаяся за счет листьев, составляла в среднем 2.02–2.22 % и была в 1.5–1.8 раз выше, чем во фракции веток и травянистых растений. В слое A0F уровень содержания азота в листовой фракции образцов составил 2.16–2.41 %, что выше в 1.4–1.7 раз других фракций. Максимальные показатели по содержанию общего азота выявлены у деревьев первой группы. Так, в течение вегетации у опытных образцов на пн 1 уровень накопления азота в листовой фракции выше, чем на других площадках, в среднем на 2–13 %, во фракции травянистых растений – на 5–13 %, во фракции веток – на 2–11 %.

Одним из основных показателей, отражающих процесс минерального питания, особенности поглощения и накопления питательных веществ растением, является содержание золы в тканях его органов. Анализ проведенных исследований показал, что по мере разложения растительных остатков в подстилке увеличивалось содержание зольности. Так, на пробных площадках у образцов количество общей золы увеличивалось с мая по сентябрь с максимумом в листовой фракции и варьированием в пределах от 10.66 до 12.97 % в слое A0L и от 11.74 до 14.05 % – в слое A0F (рис. 5).

У деревьев клена ясенелистного в несомкнутых древостоях (пн 1) содержание общей золы в подстилке выше в среднем в 1.1–1.4 раза по сравнению с другими группами деревьев. Сопос-



**Рис. 3.** Накопление массы фракций на учетных площадках (средние данные за 2021–2023 гг.).

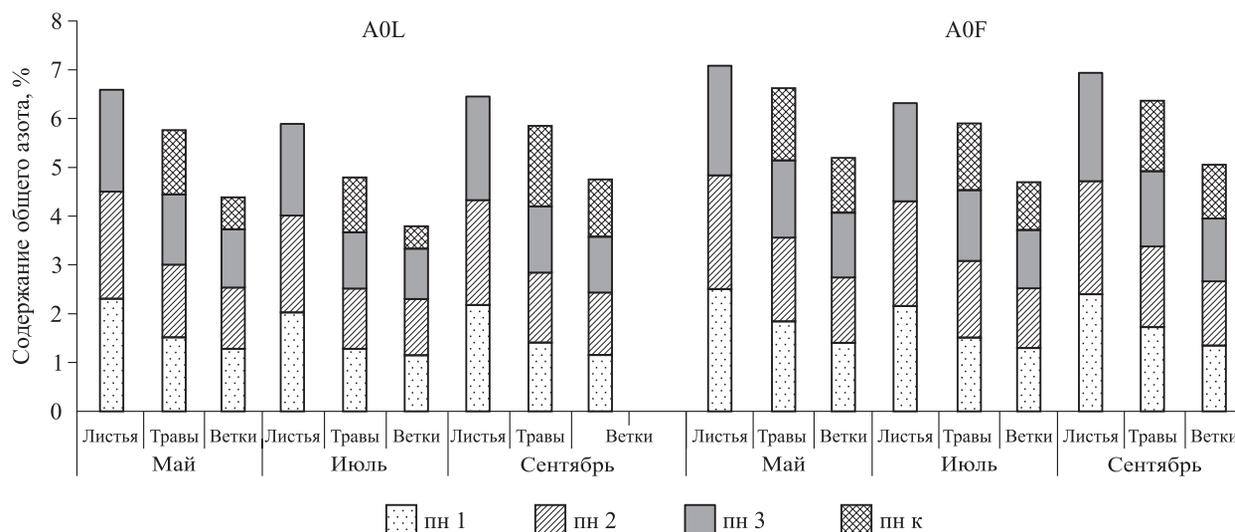


Рис. 4. Содержание азота в подстилке на исследуемых площадках.

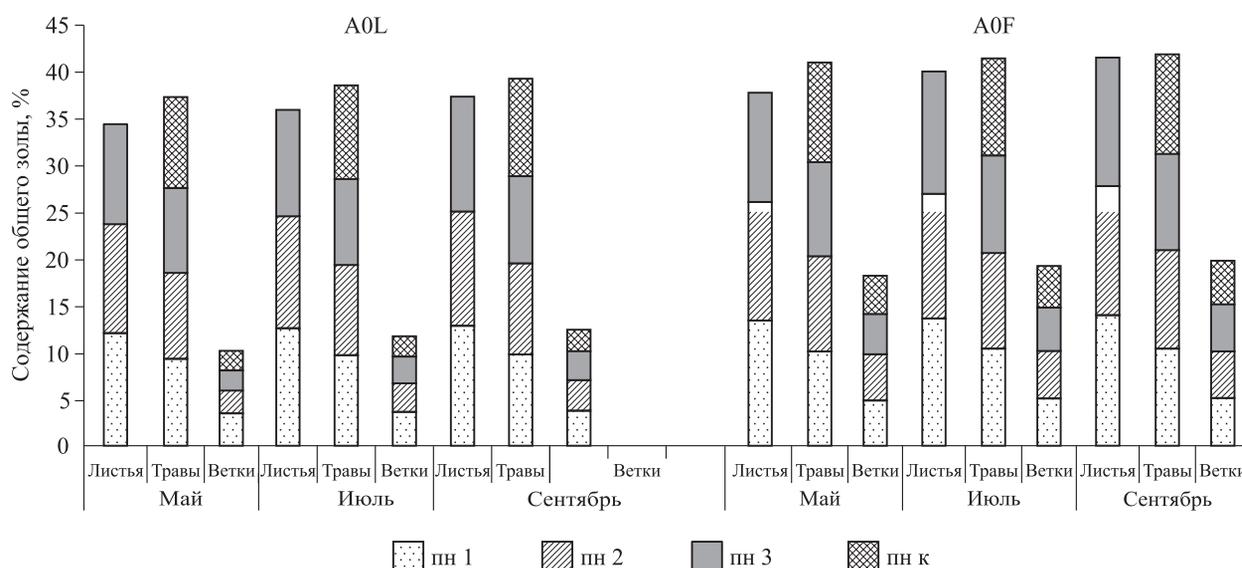


Рис. 5. Содержание общей золы в подстилке на исследуемых площадках.

тавляя полученные данные с уровнем зольности листьев, травы и веток, можно отметить, что в целом диапазон уровня содержания золы в опаде соответствовал амплитуде для представителей рода клена (*Acer* L.). По данным Е. Г. Тюльковой (2016), уровень зольности в опаде клена остролистного составлял от 7 до 13 %.

В исследованиях Е. А. Осиповой (2009) зольность листовой массы у представителей 13 видов рода клен, в том числе и клена ясенелистного, варьировала от 4–6 до 12–14 %.

Для оценки взаимосвязи исследуемых показателей проведен корреляционный анализ, который выявил ряд закономерностей. Между фитомассой и азотом установлена наиболее тесная взаимосвязь ( $r = 0.75$ ,  $p < 0.05$ ), между азотом и зольностью обнаружена отрицательная

корреляция ( $r = -0.44$ ,  $p < 0.05$ ). Таким образом, при формировании подстилки в сообществах с участием клена ясенелистного наиболее сильно различавшимся показателем химического состава опада на исследуемых площадках было содержание золы, в меньшей степени варьировало содержание азота.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На формирование подстилки лесных фитоценозов оказывает влияние сомкнутость крон популяции клена ясенелистного, а также содержание минеральных и органических соединений растительного опада. В составе подстилки в фитоценозах преобладает слой ферментации (A0F) из не полностью разложившихся,

морфологически идентифицируемых растительных остатков с повышением содержания азота и зольности в сравнении с вышележащим слоем А0L. В подкroновом пространстве клена ясенелистного растительные остатки располагались по содержанию химических соединений в убывающем порядке: листья > ветки > травы. Наиболее интенсивной минерализацией опада обладали деревья в несомкнутых древостоях, вероятно, за счет более высокого накопления фитомассы и химических соединений по сравнению с деревьями других исследуемых групп. Выяснение роли биологически активных веществ при формировании подстилки лесных фитоценозов с доминированием клена ясенелистного важно для понимания состояния напочвенного покрова и почвы в процессах биологического круговорота в лесных сообществах.

*Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН (проект № 0286–2024–0022).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 24027.2–80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М.: Изд-во стандартов, 1981. С. 120–121.
- Гродзинский А. М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Основы химического взаимодействия растений. Киев: Наук. думка, 1965. 200 с.
- Иванова Е. А. Формирование и разложение древесного опада в лесных экосистемах в фоновых условиях и при аэротехногенном загрязнении // *Вопр. лесн. науки*. 2021. Т. 4. № 3. С. 30–52.
- Кузнецов М. А. Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в средне-таежном чернично-сфагновом ельнике // *Лесоведение*. 2010. № 6. С. 54–60.
- Овчаренко А. А., Кузьмичев А. М. Роль биологически активных выделений древесных растений в формировании экологической среды фитоценозов среднего Прихоперья // *Вестн. Тамбов. гос. ун-та*. 2013. Т. 18. № 3. С. 822–825.
- Осипова Е. А. Эколого-биологические особенности видов рода клен (*Acer L.*) в лесостепи среднего Поволжья (на примере г. Самары): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Тольятти: Ин-т экол. Волжск. басс. РАН, 2009. 132 с.
- Практикум по агрохимии / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, О. А. Амелянчик и др. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
- Решетникова Т. В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов // *Вестн. КрасГАУ*. 2011. № 12. С. 74–81.
- Тарасов П. А., Тарасова А. В., Иванов В. А. Основные характеристики лесной подстилки производных мелко-лиственных насаждений // *Вестн. КрасГАУ*. 2015. № 2. С. 197–200.
- Толькова Е. Г. Зольность и морфометрические параметры листьев древесных растений как индикаторы загрязнения окружающей среды (на примере г. Гомеля) // *Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. Сер. Естеств. науки*. 2016. № 3. С. 64–69.
- Цандекова О. Л. Особенности химического состава растительного опада *Acer negundo L.* (Sapindaceae) в условиях нарушенных пойменных фитоценозов // *Хим. раст. сырья*. 2019. № 2. С. 197–203.
- Чульдиене Д., Алейниковиене Ю., Мурашкиене М., Марозас В., Армолайтис К. Распад и сохранность органических соединений и питательных элементов в листовом опаде после зимнего сезона под лесопосадками лиственницы европейской, бука обыкновенного и дуба красного в Литве // *Почвоведение*. 2017. № 1. С. 56–63.
- Шелепова О. В., Возна Л. И. Сравнительная оценка влияния опада древесных растений на свойства дерново-подзолистых почв дендрария ГБС РАН // *Бюл. Гл. бот. сада*. 2016. № 1. С. 22–26.
- Chul'diene D., Aleinikoviene Yu., Murashkiene M., Marozas V., Armolaitis K. Release and retention patterns of organic compounds and nutrients after the cold period in foliar litterfall of pure European larch, common beech and red oak plantations in Lithuania // *Euras. Soil Sci.* 2017. V. 50. Iss. 6. P. 49–56 (Original Rus. Text © 2017, D. Chul'diene, Yu. Aleinikoviene, M. Murashkiene, V. Marozas, K. Armolaitis, publ. in *Pochvovedenie*. 2017. N. 1. P. 56–63).
- Hunt J. F., Ohno T., Fernandez I. J. Influence of foliar phosphorus and nitrogen contents on chemical properties of water extractable organic matter derived from fresh and decomposed sugar maple leaves // *Soil Biol. Biochem.* 2008. V. 40. N. 7. P. 1931–1939.
- Husmann K., Rumpf S., Nagel J. Biomass functions and nutrient contents of European beech, oak, sycamore maple and ash and their meaning for the biomass supply chain // *J. Clean. Prod.* 2018. V. 172. P. 4044–4056.
- Lucas-Borja M. E., Hedo de Santiago J., Yang Y., Shen Y., Candel-Pérez D. Nutrient, metal contents and microbiological properties of litter and soil along a tree age gradient in Mediterranean forest ecosystems // *Sci. Total Environ.* 2019. V. 650. Part 1. P. 749–758.
- Piatek K. B., Munasinghe P., Peterjohn W. T., Adams M. B., Cumming J. R. A decrease in oak litter mass changes nutrient dynamics in the litter layer of a Central Hardwood Forest // *North. J. Appl. For.* 2010. V. 27. Iss. 3. P. 97–104.
- Polyakova O., Billor N. Impact of deciduous tree species on litter fall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands // *For. Ecol. Manag.* 2007. V. 253. N. 1–3. P. 11–18.
- Tashe N. C., Schmidt M. G. The impact of vine maple on site fertility of coastal temperate forests // *For. Ecol. Manag.* 2001. V. 147. N. 2–3. P. 263–279.
- Turk T. D., Schmidt M. G., Roberts N. J. The influence of bigleaf maple on forest floor and mineral soil properties in a coniferous forest in coastal British Columbia // *For. Ecol. Manag.* 2008. V. 255. N. 5–6. P. 1874–1882.
- Vesterdal L., Schmidt I. K., Callesen I., Nilsson L. O., Gundersen P. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral

soil under six common European tree species // For. Ecol. Manag. 2008. V. 255. N. 1. P. 35–48.

Walela Ch., Daniel H., Wilson B., Lockwood P., Cowie A., Harden S. The initial lignin: nitrogen ratio of litter from above and below ground sources strongly and negatively

influenced decay rates of slowly decomposing litter carbon pools // Soil Biol. Biochem. 2014. V. 77. P. 268–275.

Xie Yo., Yu D., Ren B. Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants // Aqua. Bot. 2004. V. 80. Iss. 1. P. 29–37.

## FEATURES OF LITTER FORMATION IN FOREST PHYTOCOENOSES WITH ASH MAPLE

**O. L. Tsandekova**

*Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Leningradskiy Prospekt., 10, Kemerovo, 650065 Russian Federation*

---

E-mail: zandekova@bk.ru

The results of the influence of crown density of the ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) population on the formation of forest phytocenosis litter are presented. The objects of the study were forest floors formed under natural stands of ash maple on the territory of abandoned arable land within the city of Kemerovo. The vegetation cover was described, the dominant plant species and their general projective cover were determined. Analytical samples of the samples were dried to an air-dry state, weighed to determine the proportion of each plant fraction (leaves, grass, branches) and litter reserves per absolutely dry mass were determined. From the litter samples, taking into account the AOL and AOF horizons, selected from the ash maple plantations at each site, an average sample was prepared, in which the ash content was determined by dry ashing in a muffle furnace at 400–500 °C according to GOST 24027.2-80 and the nitrogen content was determined by the method Kjeldahl. It was revealed that the formation of the litter of forest phytocenoses is influenced by the density of the crowns of the ash maple population, as well as the content of mineral and organic compounds of plant litter. The predominant composition of the litter in phytocenoses was a fermentation layer of incompletely decomposed, morphologically identifiable plant residues with an increase in nitrogen and ash content in comparison with the overlying layer. In the under-crown space of the ash-leaved maple, plant remains were arranged according to the content of chemical compounds in descending order: leaves > branches > grass. Trees in open stands had the most intense mineralization of litter, probably due to a higher accumulation of phytomass and chemical compounds compared to trees of other studied groups. The results of the study can be used to monitor natural ecosystems.

**Keywords:** *plant litter, Acer negundo L., phytomass, ash, nitrogen, phytocenosis.*

**How to cite:** *Tsandekova O. L. Features of litter formation in forest phytocenoses with ash maple // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 89–95 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*3(571.6)

## ЛЕСОВОДСТВЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА СПОСОБОВ ТЕХНОЛОГИЙ РУБОК В ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

А. П. Ковалев, А. Ю. Алексеенко, Т. Г. Качанова

*Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства  
680020, Хабаровск, ул. Волочаевская, 71*

E-mail: a.p.kovalev51@mail.ru, alexeenko.alex@gmail.com, kachanjva@mail.ru

*Поступила в редакцию 28.06.2024 г.*

Рациональное лесопользование, обеспечивающее устойчивость послерубочного состояния древостоев и направление лесообразовательных процессов при формировании лесных фитоценозов новой генерации, во многом зависит от приемов лесозексплуатации насаждений. Для каждого отведенного в рубку участка лесного фонда необходим подбор оптимального для него сочетания способов рубки, комплекса лесосечных машин и технологической схемы их применения. Основными критериями, определяющими выбор оптимальных приемов лесозаготовок и лесосечной техники, являются три группы факторов, характеризующих как насаждение в целом, так и условия его произрастания (естественно-географические факторы), а также лесоводственно-экологические показатели воздействия лесосечных операций на лес и лесную среду (технико-технологические факторы) и, конечно, функционально-нормативные ограничения и требования к проведению заготовки древесины (регламентирующие факторы). К первой группе факторов, влияющих на выбор способов рубок и технологии лесосечных работ, относятся целевое назначение лесов, возрастная структура древостоев, полнота насаждения, наличие естественного возобновления, крутизна склона, сезон лесозаготовок, влажность и промерзание почвы; вторая группа характеризует показатели воздействия техники и технологии лесосечных работ на сохранность основных компонентов леса – древостой, подрост и почву и третья группа – это лесоводственные ограничения, предъявляемые к заготовке древесины, в том числе допустимые воздействия лесозексплуатации на все компоненты насаждения и лесную среду. Установлено, что для лесов Дальнего Востока соотношение различных способов рубок по лесоводственно-экологическим показателям должно иметь следующие пропорции: сплошнолесосечные – 30–35 %, выборочные – 60–65 %, постепенные – 5–10 %. Среди технологий лесосечных работ наиболее приемлемы узкопасечные схемы заготовки древесины на базе бензопил и трелевочников с чокерной оснасткой, а также харвестеров и форвардеров при извилистом передвижении по лесосеке. Оптимизация приемов заготовки древесины напрямую зависит от правильного выбора способов рубок и технологии лесосечных работ применительно к основным лесным формациям Дальнего Востока.

**Ключевые слова:** *лесной фонд, лесозаготовки, способ рубки, лесосечные машины, группа факторов.*

DOI: 10.15372/SJFS20240510

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на огромную территорию Дальневосточного региона и наличие в нем 11 лесных районов, здесь произрастает довольно ограниченное число лесных формаций: хвойно-широколиственная, елово-пихтовая, лиственничная, сосновая, мягколиственная (березовая, осиновая), твердолиственная (дубовая, желто- и каменноберезовая), реже кедровая и ясеново-ильмовая. Распределение лесного фонда по

территории Дальневосточного региона крайне неравномерное. Основные объемы эксплуатационной древесины сосредоточены в трех лесных районах: Дальневосточном таежном, Приамурско-Приморском хвойно-широколиственном и Байкальском горном, расположенных в Хабаровском, Приморском и Забайкальском краях, Амурской, Сахалинской, Магаданской областях и Еврейской автономной области. На их долю приходится около 45 % площадей и запасов эксплуатационных лесов всего региона. В Рес-

публике Саха (Якутия), несмотря на огромную территорию, занятую лесом, пригодные для лесозаготовок насаждения в основном находятся в Восточно-Сибирском таежно-мерзлотном лесном районе на границе с Иркутской областью.

Освоение лесных древесных ресурсов на Дальнем Востоке осуществляется преимущественно с применением сплошнолесосечных рубок – до 75 %. Лишь около 20 % древесины заготавливается выборочными рубками и менее 5 % – рубками ухода. Столь значительное увлечение сплошными рубками напрямую связано с простотой подготовки лесосечного фонда и организации лесозаготовок, а также минимальных затрат сил и средств на валку и трелевку древесины.

По своему назначению сплошные рубки должны проводиться в простых по составу разновозрастных древостоях с полнотой 0.5 и ниже в долинно-равнинном комплексе местообитаний и на склонах крутизной до 20°, а также по состоянию древостоев независимо от местообитаний и формаций.

Учитывая, что в настоящее время они применяются не только в условиях возможного их проведения, но и в насаждениях, где такие рубки крайне нежелательны или совершенно недопустимы, то необходимо четко определить критерии их назначения, поскольку они более радикально в сравнении с выборочными рубками негативно изменяют лесорастительные условия и всю экологическую среду. Заготовка древесины в порядке сплошных рубок до последнего времени зачастую носит характер условно-сплошных и интенсивных подневольно-выборочных с оставлением на корню тонкомерных, фаутных хвойных и большей части деревьев лиственных пород (Обыденников, 1984; Козин и др., 1990; Ковалев, 2004).

Выборочные рубки в дальневосточных лесах проводятся на площади около 30.0 тыс. га с общим объемом заготавливаемой древесины до 2.6 млн м<sup>3</sup>/год. Причины ограниченного внедрения выборочных рубок связаны преимущественно с необходимостью заготовки не только деловой древесины, но и фаутной и малоценной лиственной, которая должна вырубаться в первую очередь при несплошных рубках (Мелехов, 1983; Соколов и др., 2021).

Не менее важным при заготовке древесины, наряду со способами рубок, является воздействие лесосечных машин и технологий лесозаготовок на сохранность не подлежащих рубке деревьев, тонкомера, подроста и почву, от которых

зависит характер и направление лесовосстановительных процессов на вырубках, показатели роста и продуктивности будущих насаждений.

Цель исследования – разработка методических подходов к выбору природосберегающих видов рубок спелых и перестойных насаждений и методов освоения лесов на Дальнем Востоке.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов изучения послужили основные лесные формации Дальневосточного региона, подвергающиеся интенсивной лесоэксплуатации различными способами и технологиями рубок. Исследования выполнялись на основе общепринятых комплексных и таксационных методов, применяемых при изучении насаждений и оценке воздействия лесосечных операций на компоненты леса и лесную среду (Чумин и др., 1989; Побединский, 1995; Манько, 1996; Никонов, 2010; Уразова и др., 2020; Приходько и др., 2021). Основная часть работ осуществлялась на пробных площадях и участках опытно-производственных рубок, которые подбирались с учетом целей эксперимента в типичных древостоях наиболее распространенных хозяйственных групп типов леса. В процессе исследований устанавливалась степень воздействия лесосечных работ при использовании различных лесозаготовительных машин на сохранность и повреждаемость не подлежащих рубке деревьев, подроста и почвы при сплошных и выборочных рубках (Запруднов и др., 2017; Мохирев и др., 2017). При изучении вопроса выбора сохраняющих лесную среду способов рубок, разрабатывалась специальная шкала с определенными критериями, характеризующими как само насаждение, так и условия его произрастания, позволяющими наиболее оптимально установить способ заготовки древесины.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для полноценного анализа эффективности того или иного способа рубки необходимо рассмотреть каждый из факторов, влияющих на его выбор с учетом условий возможного назначения этих рубок. Так, по своему назначению сплошные рубки должны проводиться в простых по составу разновозрастных древостоях низкой полноты в долинно-равнинном комплексе и на склонах крутизной до 20° с неудовлетворительным

возобновлением главных пород, а также назначаться по состоянию древостоя независимо от местоположения и формации.

Выборочные рубки назначаются во всех лесных формациях в разновозрастных древостоях с вертикальной сомкнутостью полога, в долинных и горных местообитаниях на склонах крутизной до 30°. В насаждениях однопорodных, разновозрастных или с выраженными поколениями древостоев назначаются равномерно-постепенные, группово-постепенные, чересполосно-постепенные и длительно-постепенные рубки. На многолетнемерзлотных грунтах способы и технологии рубок должны обеспечивать устойчивость насаждений, сохранение экологической стабильности среды и предотвращение мерзлотной эрозии. В этих условиях следует проводить выборочные рубки в зимний период. В защитных лесах преимущественное назначение должны найти добровольно-выборочные рубки, поскольку они повсеместно позволяют сохранить лесную обстановку и все защитно-охраняющие функции этих лесов. В высокополнотных древостоях, слабо обеспеченных естественным возобновлением (лиственничники, сосняки), возможно проведение сплошнолесосечных рубок с оставлением семенных куртин или полос. В зимних условиях сплошные рубки наиболее эффективны при наличии мелкого подроста основных пород.

В условиях российского Дальнего Востока для назначения сплошнолесосечных рубок наиболее подходят коренные кустарниковые и травяно-моховые лиственничные, сосновые и мягколиственные насаждения, имеющие простую структуру, близкую к разновозрастным древостоям, слабую обеспеченность предварительным возобновлением и в большинстве своем, за исключением сосняков и белоберезников, низкую полноту и продуктивность.

Выборочные рубки должны найти широкое назначение в многопорodных хвойно-широколиственных древостоях, имеющих в своем составе значительное количество ценных и эндемичных пород, в разновозрастных елово-пихтовых, лиственничных, сосновых и твердолиственных насаждениях, а также во всех лесных формациях, произрастающих в защитных лесах и на длительномерзлотных почвах (Правила..., 2000).

Рассматривая каждый критерий, влияющий на выбор способа рубки, можно вполне успешно определить наиболее приемлемый вид рубки за счет градации показателей, характеризующих насаждение и условия его произрастания.

Так, отнесение лесов по целевому назначению к защитным отдает предпочтение выборочным рубкам, поскольку это наиболее ценные насаждения, служащие для сохранения экологических, водных, эстетических и других защитных свойств леса. В то же время, в эксплуатационных лесах выборочные рубки эффективны преимущественно в многопорodных хвойно-широколиственных насаждениях, имеющих в составе запрещенные к рубке породы – кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), тис остроконечный (*Taxus cuspidata* Siebold et Zucc. ex Endl.) и другие виды, а также в разновозрастных елово-пихтовых, сосновых, лиственничных и твердолиственных древостоях.

По состоянию насаждений выборочные рубки предпочтительнее в древостоях, где количество больных, усохших и поврежденных деревьев менее 20 %. Превышение этого показателя соответствует критериям сплошнолесосечных рубок.

Полнота древостоя служит основанием для выбора способа рубки. В низкополнотных насаждениях, как правило, назначаются сплошные рубки, поскольку это древостои кустарниковых и травяных типов леса, слабо обеспеченные подростом предварительной генерации и нуждающиеся в содействии естественному возобновлению лесоводственными и лесокультурными методами. В средне- и высокополнотных насаждениях, особенно если они разновозрастные, более эффективны выборочные рубки.

По возрастной структуре древостоев сплошнолесосечным рубкам предпочтение отдается в разновозрастных насаждениях (0–20 лет), в разновозрастных должны назначаться выборочные рубки.

Влажность почвы также влияет на способ рубки. На сырых и переувлажненных почвах наиболее приемлемы выборочные рубки, обеспечивающие устойчивость деревьев, оставляемых на лесосеках. Многолетнемерзлотные почвы особенно нуждаются в выборочных рубках слабой интенсивности, обеспечивающих защиту от мерзлотной эрозии.

По крутизне склона сплошнолесосечные рубки в большинстве случаев проводятся на пологих, крутизной до 20°, склонах гор с целью избежания эрозионных процессов.

В зимних условиях сплошные рубки назначаются на лесосеках с подростом (желательно

Таблица 1. Шкала для выбора способов рубок в основных лесных формациях ДФО

Факторы и показатели лесорастительных условий и насаждений	Градации показателей	Лесные формации				
		хвойно-широколиственная	елово-пихтовая	сосновая и лиственничная	твердолиственная	мягколиственная
Целевое назначение лесов	Защитные Эксплуатационные	В В	В ВС	В ВС	В В	В СВ
Состояние древостоя (по количеству больных, усохших, поврежденных деревьев)	Хорошее – менее 10 %	В	В	В	В	В
	Удовлетворительное – 11–20 %	В	В	В	В	В
	Неудовлетворительное – 21–30 %	В	С	С	С	С
	Критическое – > 30 %	СВ	С	С	С	С
Полнота древостоя	Низкополнотные – 0.3–0.4	В	С	С	ВС	СВ
	Среднеполнотные – 0.5–0.7	В	ВС	ВС	В	СВ
	Высокополнотные – 0.8 и более	В	ВП	ВС	ВП	ВС
Возрастная структура древостоя	Одновозрастные – 0–20 лет	ВП	СВ	СП	ПВ	СП
	Разновозрастные – 21 год и более	В	ВП	ВП	ВП	ВП
Возобновление	Неудовлетворительное – < 2.0 тыс. шт./га	В	СВ	СВ	В	СВ
	Удовлетворительное – > 2.0 тыс. шт./га	В	В	ВС	В	СВ
Влажность почвы	Сухие (свежие)	В	ВС	СВ	В	СВ
	Сырые	В	В	В	В	ВС
Промерзание почв	Многолетнемерзлотные	В	В	В	В	В
	Сезонно-мерзлотные	В	ВС	ВС	ВП	СВ
Крутизна склона	Пологие – 0–20°	В	ВС	СВ	ВП	СВ
	Крутые – 21–30°	В	В	В	В	В
Сезон лесозаготовок	Зима	В	СВ	СВ	В	С
	Лето	В	В	СВ	В	СВ

Примечание. Виды рубок: В – выборочные, С – сплошные, П – постепенные.

мелким), поскольку сохранность его существенно выше.

Для удобства выбора способа рубки основные факторы и показатели, характеризующие основные лесные формации, сведены в табл. 1.

Наряду со способами рубок важную роль в процессе заготовки древесины играют лесосечные работы, т. е. подбор оптимальных лесосечных машин и технологической схемы их применения.

Критерием оценки влияния различных лесосечных машин и технологий лесозаготовок на древостой и лесную среду являются лесоводственно-экологические показатели последствий их применения при различных способах и технологиях лесосечных работ. Прежде всего, это воздействие лесозаготовки на подлежащие рубке компоненты фитоценоза (деревья, тонкомер и подрост), живой напочвенный покров и верхние горизонты почвы, которые в дальнейшем определяют характер и направление лесовосстановительных процессов на вы-

рубках, показатели роста и продуктивности будущих насаждений.

Лесоводственная оценка способов рубок и технологий лесосечных работ, проведенная в различных насаждениях и лесорастительных условиях Дальневосточного региона, позволила выявить наиболее рациональные приемы заготовки древесины и машины, оказывающие наименьшее негативное влияние на лес и лесную среду (Лесной кодекс..., 2006; Современное состояние..., 2009; Правила..., 2022; Ковалев, Качанова, 2022) (табл. 2).

Средняя сохранность не подлежащих рубке деревьев и подростов при сплошных рубках редко превышает 50 %. Повреждения на поверхности почвы могут достигать 60 % и более. При выборочных рубках все показатели по сохранению фитоценозов и почвы увеличиваются по сравнению со сплошными рубками более чем в 2 раза. При этом всегда сохраняется лесная среда, существенно сокращается опасность возникновения лесных пожаров.

**Таблица 2.** Лесоводственно-экологические показатели последствий применения различных технологий заготовки древесины

Техника и технология лесосечных работ	Площадь учета, га число повтор-носителей	Число подроста до рубки, тыс. шт./га	Сохранность				Повреждаемость почвы			
			подроста		не подлежащих рубке деревьев		общая		минерализованной	
			зимой	летом	зимой	летом	зимой	летом	зимой	летом
<i>Сплошные рубки</i>										
Бензопила + ТТ-4, узкопосечная, за комли	$\frac{9}{2}$	91.0–14.8	22.8–32.6	21.1–23.2	12.0–17.6	11.0–13.3	18.1–24.6	55.2–77.5	4.4–9.9	29.1–32.7
Бензопила + ТТ-4, за вершину	$\frac{11}{5}$	11.4–13.0	61.6–71.8	48.3–65.5	59.2–65.2	55.0–59.1	15.1–17.7	72.6–41.8	3.3–7.8	9.2–14.2
ВПМ + БТМ	$\frac{27}{17}$	7.0–14.0	28.7–45.8	12.2–27.4	16.3–26.8	16.1–19.5	26.9–37.3	39.9–65.9	13.7–20.4	37.1–51.6
Бензопила + СКУ, секторная	$\frac{59}{4}$	6.6–8.5	–	10.3–19.6	–	1.6–4.3	–	70.9–91.0	–	8.6–14.8
Бензопила + СКУ, узкопосечная	$\frac{112}{12}$	5.9–14.3	–	48.5–60.0	–	49.7–54.4	–	55.5–60.8	–	9.6–17.1
Харвестер + Форвардер-Т-1210 и 1010	$\frac{170}{14}$	6.6–13.3	59.6–62.3	48.5–59.1	52.6–62.8	51.3–65.4	19.9–23.7	23.4–36.6	0.9–1.1	1.2–9.9
ВТМ	$\frac{48}{3}$	9.7–10.1	5.6–20.8	9.0–10.4	2.1–3.4	2.3–4.9	36.1–41.1	89.0–90.9	10.0–18.7	48.7–52.1
<i>Выборочные рубки</i>										
Бензопила + ТТ-4, узкопосечная, за вершину	$\frac{90}{15}$	5.4–10.7	65.8–79.1	59.2–65.9	62.6–70.7	60.4–69.2	22.1–27.3	36.0–41.5	0.5–3.9	4.1–7.6
ВПМ + БТМ	$\frac{45}{17}$	7.8–15.0	31.6–40.9	16.8–31.9	23.4–29.9	18.1–25.3	33.3–39.4	50.0–72.7	11.5–22.7	29.5–40.1
Бензопила + СКУ	$\frac{70}{11}$	5.3–11.7	–	56.8–69.3	–	55.0–61.8	–	36.6–41.9	–	4.9–6.8
Харвестер + Форвардер-Т1210, 1010	$\frac{214}{22}$	9.7–12.1	65.4–75.1	58.9–71.6	60.9–69.6	55.5–68.3	19.6–27.1	28.5–36.1	1.1–3.5	4.7–7.8
Бензопила + вертолет Ми-8МТ	$\frac{14}{2}$	8.0–13.0	–	81.3–86.1	–	79.0–84.1	–	16.6–21.2	–	0.4–1.1

*Примечание.* ТТ-4 – трелевочный трактор с чокерной оснасткой; ВПМ – валочно-пакетирующая машина; БТМ – бесчокерная трелевочная машина; СКУ – самоходная канатная установка; Т-1270 и 1010 – харвестеры и форвардеры фирмы «Тимберджек»; ВТМ – валочно-трелевочная машина ЛП-49; Ми-8МТ – транспортный вертолет.

В целом, использование данных предложенных таблиц позволяет обеспечить принятие правильных управленческих решений при выборе способа рубок и технологии лесосечных работ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя основные факторы и показатели насаждений, их лесорастительные условия, можно вполне успешно определить наиболее рациональные способы рубок применительно к конкретным лесным формациям Дальнего Востока. Наличие данных о состоянии, полноте, возобновлении, почвенных условиях и целевом назначении лесов, полученных при отводе лесосек в рубку, показывают какие способы рубок соответствуют тем или иным насаждениям.

Для лесов Дальнего Востока наиболее эффективны выборочные рубки (60 % и более), в которых нуждаются практически все лесные формации региона. Дифференциация по видам выборочных рубок будет, прежде всего, зависеть от возрастной структуры и полноты древостоя, наличия и категории крупности возобновления.

При выборе лесозаготовительной техники и технологической схемы её применения следует учитывать показатели сохранности древостоя, подроста и почвы. Опыт изучения различных лесосечных машин по лесоводственно-экологическим показателям последствий их применения в разных лесных формациях позволяет подобрать наиболее оптимальные из них для эффективного использования при разных способах рубок в бесснежный период и зимой. Здесь широкое распространение могут найти узкопосечные технологии лесосечных работ с применением сортиментной заготовки древесины харвестерами и форвардерами, вертолетная транспортировка хлыстов при заготовке особо ценных пород и грузопоточно-узкопосечная технологическая схема с использованием на валке бензомоторных пил и трелевке хлыстов за вершину тракторами с чокерной оснасткой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Запруднов В. И., Карпачев С. П., Быковский М. А. Технологии и технические средства процессов лесосечных работ // Лесн. вестн. 2017. Т. 21. № 1. С. 108–117.

Ковалев А. П. Эколого-лесоводственные основы рубок в лесах Дальнего Востока. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2004. 271 с.

Ковалев А. П., Качанова Т. Г. Лесоводственная оценка технологий заготовки древесины в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока // Сиб. лесн. журн. 2022. № 6. С. 3–11.

Козин Е. К., Розенберг В. А., Таранков В. И. Материалы по строению и развитию долинного кедрово-широколиственного леса // Комплексные исследования лесных биоценозов. Владивосток: Дальнаука, 1990. С. 128–135.

Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ. М., 2006.

Манько Ю. И. Географические особенности лесообразовательного процесса в темнохвойных лесах Дальнего Востока // Лесоведение. 1996. № 4. С. 3–11.

Мелехов И. С. Проблемы современной экологии леса // ИВУЗ. Лесн. журн. 1983. № 1. С. 3–11.

Мохирев А. П., Мамматов В. О., Медведев С. О., Позднякова М. О. Совершенствование технологического процесса лесозаготовок в условиях Красноярского края. Красноярск: Амальгама, 2017. 168 с.

Никонов М. В. Лесоводство: Учеб. пособ. СПб.: Лань, 2010. 224 с.

Обыденников В. И. Влияние сплошных рубок на лесорастительную среду и восстановление леса. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 46 с.

Побединский А. В. Лесоводственно-экологическая оценка влияния лесозаготовительной техники на почвенно-растительный покров // Лесн. хоз-во. 1995. № 3. С. 30–33.

Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в ст. 23 Лесного кодекса РФ (ред. от 17.10.2022). Утв. Приказом Мин-ва природ. рес. и экол. РФ от 01.12.2020 № 993. М.: Мин-во природ. рес. и экол. РФ, 2022.

Правила рубок главного пользования в лесах Дальнего Востока. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 32 с.

Приходько О. Ю., Бычкова Т. А., Ким Г. Е. Современное состояние лесного фонда Дальневосточного федерального округа // Сиб. лесн. журн. 2021. № 1. С. 21–29.

Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования / Под ред. А. П. Ковалева. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.

Соколов В. А., Втюрина О. П., Соколова Н. В. Лесные ресурсы Красноярского края: перспективы и ограничения использования // Сиб. лесн. журн. 2021. № 4. С. 24–33.

Уразова А. Ф., Азаренок В. А., Герц Э. Ф. Оценка воздействия технологий заготовки древесины на окружающую среду: Учеб. пособ. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 122 с.

Чумин В. Т. Дальневосточное лесоводство: проблемы, пути решения // Лесн. хоз-во. 1989. № 1. С. 10–12.

## SILVICULTURAL PRINCIPLES OF CHOOSING METHODS OF LOGGING TECHNOLOGIES IN THE FAR EASTERN FORESTS

A. P. Kovalev, A. Yu. Alekseenko, T. G. Kachanova

*Far Eastern Scientific Research Institute of Forestry  
Volochnaevskaya str., 71, Khabarovsk, 680020 Russian Federation*

---

E-mail: a.p.kovalev51@mail.ru, alexeenko.alex@gmail.com, kachanjva@mail.ru

Rational forest management, which ensures the stability of the post-harvest state of stands and the direction of forest formation processes in the formation of forest phytocenoses of a new generation, largely depends on the methods of exploitation of forest stands. For each section of the forest fund allocated for logging, it is necessary to select the optimal combination of logging method, the complex of logging machines and the technological scheme of their application. The main criteria determining the choice of optimal logging techniques and logging equipment are three groups of factors, characterizing both the stand as a whole and the conditions of its growth (natural geographical factors), as well as silvicultural and environmental indicators of the impact of logging operations on the forest and the forest environment (technical and technological factors) and, functional and regulatory restrictions and requirements for wood harvesting (regulatory factors). The first group of factors influencing the choice of logging methods and cutting technology includes: the purpose of forests, the age structure of stands, the completeness of planting, the presence of natural regeneration, the steepness of the slope, the logging season, humidity and soil freezing. The second group of factors characterizes the indicators of the impact of equipment and technology of logging operations on the safety of the main components of the forest – stand, undergrowth and soil. The third group of factors is the silvicultural restrictions imposed on timber harvesting, including the permissible effects of forest exploitation on all components of the stand and the forest environment. Therefore, the optimization of wood harvesting techniques directly depends on the correct choice of logging methods and cutting technology in relation to the main forest formations of the Far East.

**Keywords:** *forest fund, logging, method of cutting, harvester, group of factors.*

**How to cite:** *Kovalev A. P., Alekseenko A. Yu., Kachanova T. G. Silvicultural principles of choosing methods of logging technologies in the Far Eastern forests // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 96–102 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*114.351(470.1)

## ПОСТУПЛЕНИЕ ДРЕВЕСНОГО ОПАДА НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОЧВЫ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

**А. Ф. Осипов***Институт биологии Коми научного центра УрО РАН  
167982, Республика Коми, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28*

E-mail: osipov@ib.komisc.ru

*Поступила в редакцию 24.05.2024 г.*

Растительный опад является связующим потоком между фитоценозом и почвой, а его разложение оказывает влияние на скорость накопления органического вещества в почве. Несмотря на большой фактический материал по массе опада в сосняках России, обобщенные оценки роли условий произрастания в этом процессе единичны. По итогам пятилетних наблюдений (2017–2022 гг.) установлена относительно постоянная скорость потока органического вещества от древесных растений на поверхность лесной подстилки, которая может изредка нарушаться вследствие значительного опада ветвей в зимний период. В среднем поступление опада в сосняке бруснично-лишайниковом составило 233.4 г/(м<sup>2</sup> · год), черничном – 206.1, сфагновом – 109.6 г/(м<sup>2</sup> · год), большая часть которого (66–72 %) формируется с мая по октябрь. В относительно чистых по составу насаждениях хвоя сосны (*Pinus L.*) образует 48–62 % от общей массы опада. Существенный вклад также вносят ветви (12–16 %, преимущественно сосновые) и кора сосны (12–14 %). Выявлено, что условия произрастания влияют на долю хвои и шишек сосны, листьев березы (*Betula L.*) в общем количестве древесного опада.

**Ключевые слова:** сосняки, опад, тип леса, средняя тайга.

DOI: 10.15372/SJFS20240511

### ВВЕДЕНИЕ

Поступление растительного опада на поверхность почвы является фундаментальным компонентом круговорота веществ, который обеспечивает связь между фитоценозом и почвой (Jevon et al., 2022). Корреляция между его количеством и скоростью разложения во многом определяет формирование лесной подстилки и, следовательно, оказывает влияние на динамику накопления пула почвенного углерода (Никонов, 1987; Krishna, Mohan, 2017; Кузнецова, 2021). Также фракционный состав растительного опада может воздействовать на разнообразие почвенных беспозвоночных и микроорганизмов (Kuzyakov, Vlagodatskaya, 2015; Безкоровайна и др., 2017; Bezkorovaunaya et al., 2017), поэтому его масса служит одним из предикторов при модельных оценках динамики органического вещества и углерода в лесных экосистемах и поч-

ве в частности (Komarov, Shanin, 2012; Чертов и др., 2019).

На поступление опада влияет ряд факторов абиотической и биотической природы. Так, в ряде исследований показана значимость географического положения, температуры воздуха и количества осадков на массу опада (Lehtonen et al., 2008; Portillo-Estrada et al., 2013; Bhatti, Jassal, 2014; Shen et al., 2019; и др.). Также выявлена корреляция между количеством опада и показателями насаждений, определяющих запасы фитомассы, таких как класс бонитета, индекс  $H_{100}$  (индекс, используемый для характеристики продуктивности участка на основе высоты деревьев-доминантов в возрасте 100 лет), объем древесины в древостое, сумма площадей сечений и густота деревьев, стадия развития (Berg et al., 1999; Starr et al., 2005; Erkan et al., 2018; и др.).

Для территории Российской Федерации в настоящее время существует довольно обширный

материал, характеризующий поступление, распределение по сезонам и фракционный состав опада в хвойных насаждениях на северо-западе страны (Казимиров и др., 1977; Никонов, Лукина, 1994; Синькевич и др., 2009; Sin'kevich et al., 2009; Иванова, Лукина, 2017; и др.), северо-востоке ее европейской части (Бобкова и др., 1982; Эколого-физиологические основы..., 1993; Осипов, 2017; и др.), Сибири (Трефилова и др., 2011; Трефилова, Ведрова, 2018; Прокушкин и др., 2022; и др.) и Дальнего Востока (Брянин, Абрамова, 2017). Однако большинство работ обычно описывает один, реже два-три типа леса, а обобщающих публикаций, показывающих влияние условий произрастания, в том числе в сходные периоды наблюдений, для оценки роли погодных условий, явно недостаточно.

Цель настоящей работы оценить поступление древесного опада в среднетаежных сосняках на Европейском Северо-Востоке России с учетом условий их произрастания.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проходили в 2017–2022 гг. в среднетаежной подзоне Республики Коми на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми научного центра УрО РАН. Объектами послужили сосняки разных типов: бруснично-лишайниковый, черничный влажный и сфагновый, находящиеся на близких стадиях возрастного развития. Таксационное описание древостоев выполнено на постоянных пробных площадях размером 0.12–0.20 га (табл. 1).

Древесный ярус сосняков, практически чистый по составу, имеет небольшое включение ели и березы. В подросте преобладает береза со слабым участием ели и единичных особей

сосны в черничном и бруснично-лишайниковом насаждениях. В сосняке чернично-сфагновом в подросте много крупных особей сосны, преимущественно сухих и неблагонадежных.

Для сбора древесного опада использовали опадоуловители (ОУ) площадью 0.25 м<sup>2</sup>, которые располагались вне пробных площадей. Стенки ОУ высотой 10 см были изготовлены из дерева, а дно обтянуто синтетической тканью для стока влаги. Для предотвращения деструкции поступившего опада ОУ приподнимали над поверхностью почвы на 5–10 см с целью вентиляции его дна и избежания застоя воды. Также это предохраняло синтетическую ткань от повреждений растущими кустарничками и зарастания мхами. Всего в бруснично-лишайниковом насаждении было установлено 20 ОУ, черничном – 18, сфагновом – 15 ОУ.

Сбор образцов выполняли 2 раза в год: в середине мая после схода снега («холодный» период) и в середине октября после листопада («теплый» период), а их разбор проводили в лаборатории. Выделялись следующие фракции с учетом вида растения: хвоя, листья, ветви, кора, шишки. В дальнейшем общую массу ветвей анализировали без разделения по видам в связи с доминированием сосны и небольшим вкладом ели и березы. Небольшие по массе фракции (эпифитные лишайники, почечные чешуи) и сильно измельченные фракции относили к растительным остаткам (Portillo-Estrada et al., 2013). В связи с тем, что отборы древесного опада не были приурочены по времени к началу года, под годовым потоком понимали сумму двух сборов («теплый» + «холодный» периоды), по длительности он был примерно равен 1 году, поэтому в тексте при описании такого периода приводятся 2 года. Разобранные образцы при 105 °С высушивались до абсолютно сухой массы и взвешивались с точностью 0.01 г.

Таблица 1. Характеристика древесного яруса сосняков

Тип леса	Состав*	N, экз./га	Средние**			G, м <sup>2</sup> /га	M, м <sup>3</sup> /га	Ph, т/га
			A, лет	D, см	H, м			
Бруснично-лишайниковый	10С ед. Б	2533	90	11.6	13.9	32	246	183.3
Черничный	9С1Б + Е	1100	104	19.6	15.8	28	231	145.5
Сфагновый	10С ед. Е	1983	100	11.3	10.1	24	137	109.3

Примечание. N – густота древостоя; A – возраст; D – диаметр на высоте 1.3 м; H – высота; G – сумма площадей сечений деревьев; M – запасы древесины; Ph – фитомасса древостоя; С – сосна (*Pinus* L.); Е – ель (*Picea* A. Dietr.); Б – береза (*Betula* L.).

\* Состав рассчитан по вкладу породы в общие запасы древесины.

\*\* Приведены данные для деревьев сосны.

Коэффициент 4 использовали для перевода массы образца, собранного на ОУ, на единицу площади ( $\text{г}/\text{м}^2$ ).

Была проведена описательная статистика полученных данных, заключающаяся в расчете средних значений опада отдельных фракций, их ошибок, коэффициента вариации, определении минимальных и максимальных величин. Для парных сравнений применялся  $t$ -критерий Стьюдента ( $p$ ). Оценку межгодовых различий поступления отдельных фракций и опада в целом проводили при помощи факторного анализа ANOVA ( $p_A$ ) или критерия Краскелла – Уоллиса ( $p_{kw}$ ) в зависимости от нормальности распределения исходных данных и однородности групповых дисперсий. Обработка полученных данных выполнена в Microsoft Excel и R 4.2.2 при 95%-м уровне значимости.

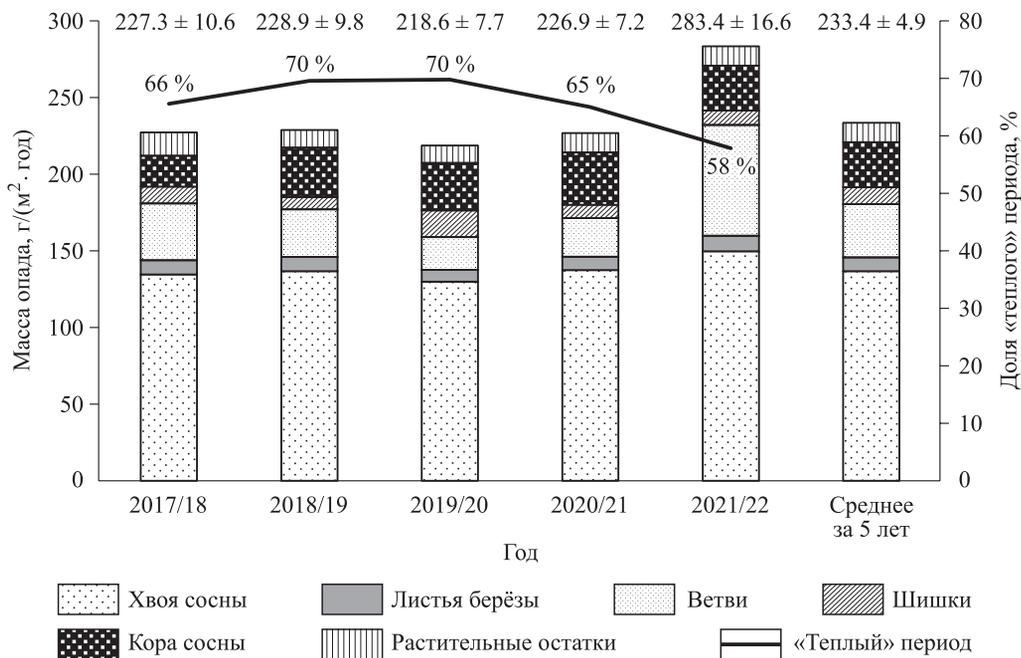
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Поступление древесного опада в сосняке бруснично-лишайниковом.** За 5 лет наблюдений поступление древесного опада в сосняке бруснично-лишайниковом изменялось от 219 до 283  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  (в среднем  $233.4 \pm 4.9 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ), около 66 % которого приходится на «теплый» период (рис. 1). Установлена достоверная

( $p_{kw} = 0.018$ ) межгодовая вариация массы древесного опада. Однако при помощи попарных сравнений установлены более высокие (в 1.2–1.3 раза;  $p_t < 0.05$ ) значения изучаемого параметра в 2021/22 г., тогда как остальные годы исследований сопоставимы между собой в интенсивности потока органического вещества из фитоденноза на поверхность лесной подстилки подзола иллювиально-железистого.

Хвоя сосны образует более половины (53–61 %, в среднем 59 %,  $CV = 16$  %) массы древесного опада. Ветви (преимущественно сосновые, с небольшим участием березы) формируют в среднем 15 % (10–26 %,  $CV = 112$  %), кора сосны – 13 % (9–15 %,  $CV = 30$  %). На шишки сосны и растительные остатки приходится по 5 %, листья березы – 4 %. Межгодовая вариация наблюдалась в поступлении коры сосны ( $p_A < 0.001$ ), растительных остатков ( $p_{kw} = 0.002$ ) и ветвей ( $p_{kw} = 0.048$ ), тогда как масса остальных фракций была относительно постоянна.

Меньшая скорость (в 1.5–1.7 раза) опадения коры сосны отмечалась в 2017/18 г. и составила 20.1  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , тогда как в остальные периоды исследований значение этого параметра было сопоставимым ( $p_t > 0.05$ ). Загущенный древесный ярус сосняка бруснично-лишайникового характеризуется достаточно интенсивным опадом ветвей, максимальное количество



**Рис. 1.** Межгодовая динамика поступления древесного опада в сосняке бруснично-лишайниковом.

Цифры над диаграммой – масса,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  и доля «теплого» периода в годовом потоке.

которого ( $72.3 \pm 17.9 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) наблюдалась в 2021/22 г. и послужило причиной снижения до 58 % вклада «теплого» периода в общую массу опада.

**Поступление древесного опада в сосняке черничном влажном.** В среднетаёжном сосняке черничном влажном годичный опад древесных растений изменяется от 194 до  $226 \text{ г}/\text{м}^2$  (в среднем  $206.1 \pm 6.1$ ,  $CV = 28 \%$ ), с отсутствием достоверных межгодовых различий ( $p_{kw} = 0.089$ ) (рис. 2). Однако, парные сравнения показали более активное поступление опада в 2017/18 г. по сравнению с 2019/20 г. ( $p_t = 0.018$ ) и 2020/21 г. ( $p_t = 0.020$ ), тогда как для других лет исследований различий не выявлено. Анализ распределения опада по сезонам года показал, что большая его часть (в среднем 69 %) поступает в течение «теплого» периода, с вариацией доли участия в пределах 65–73 %.

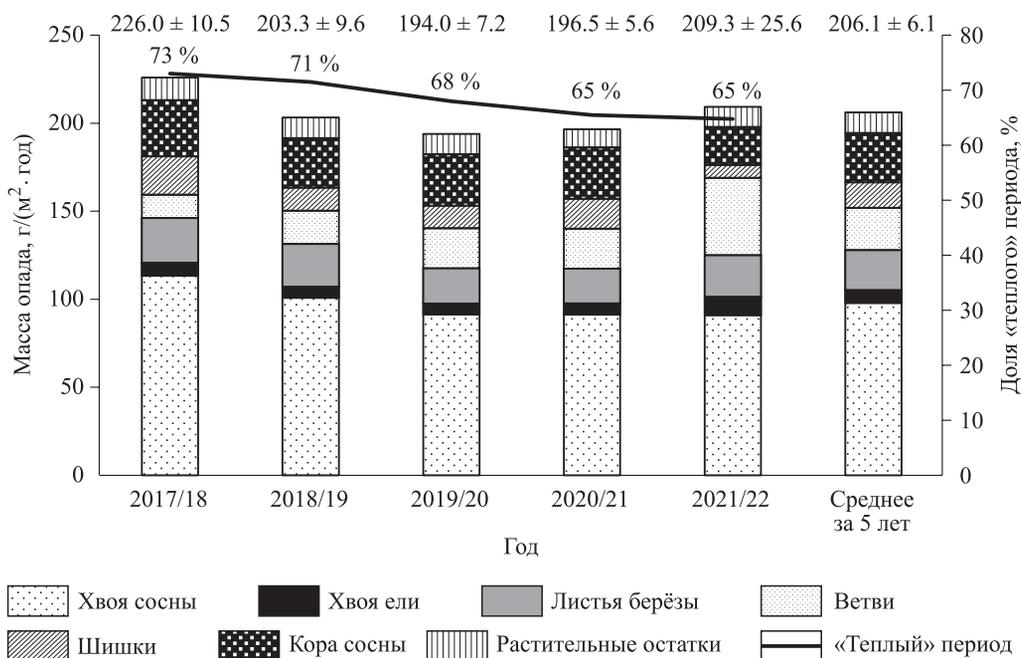
Хвоя сосны формирует 44–50 % (в среднем 48 %) от поступления органического вещества древесных растений на поверхность почвы, а ее масса достоверно изменяется в годы исследований ( $p_{kw} < 0.001$ ), что во многом обусловлено более активным ( $113.6 \pm 3.0 \text{ г}/\text{м}^2$ ) опадом в 2017/18 г., тогда как в остальные годы эта величина относительно постоянна ( $p_t > 0.05$  во всех случаях). Кора сосны, образуя в среднем 14 % (10–15 %) от потока органического вещества на поверхность лесной подстилки, характеризуется меньшим поступлением в 2020/21 г., тогда как

с 2017 по 2020 г. ее значение не имело достоверной межгодовой вариации. Также стабилен ( $19.7\text{--}25.3 \text{ г}/\text{м}^2$ ;  $p_{kw} = 0.195$ ) опад листьев березы со средним участием 11 %. Ветви древесных растений характеризуются существенным межгодовым разбросом (6–21 %) вклада в общую массу опада, а их интенсивное поступление ( $44.1 \pm 22.3 \text{ г}/\text{м}^2$ ) отмечено в 2021/22 г. Опад шишек сосны, хвои ели и фракции «растительные остатки», формирующие в среднем за 5 лет наблюдений 7, 4 и 6 % соответственно, также не имели межгодовой вариации.

**Поступление древесного опада в сосняке сфагновом.** С опадом древесных растений на поверхность почвы сосняка сфагнового поступает  $100\text{--}138 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , с более высокими значениями в период сбора 2021/22 г. (рис. 3).

В среднем за 5 лет наблюдений нисходящий поток органического вещества из фитоценоза на лесную подстилку составил  $109.6 \pm 5.8 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , большая часть которого (в среднем 72 %) приходится на «теплый» период. Следует отметить отсутствие достоверной межгодовой разницы в общей массе опада ( $p_{kw} = 0.854$ ), что также подтверждается попарными сравнениями между периодами исследования ( $p_t > 0.05$ ). Это свидетельствует об относительном гомеостазе сосняка сфагнового, который может нарушаться в отдельные годы.

Доминирующей фракцией древесного опада является хвоя сосны, вклад которой в среднем



**Рис. 2.** Межгодовая динамика поступления древесного опада в сосняке черничном влажном. Цифры над диаграммой – масса,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  и доля «теплого» периода в годовом потоке.

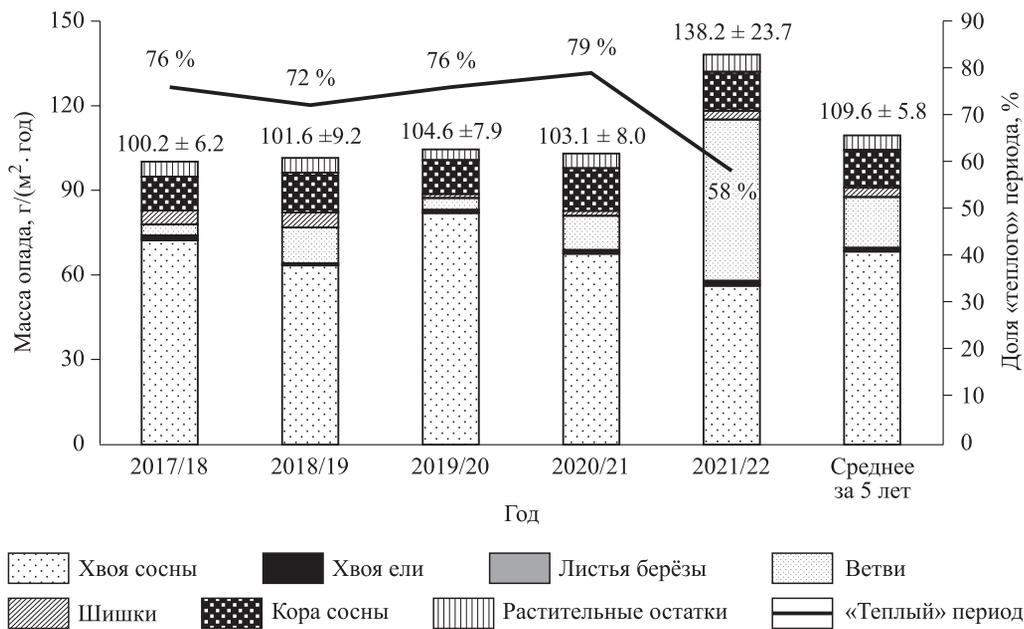


Рис. 3. Межгодовая динамика поступления древесного опада в сосняке сфагновом.

Цифры над диаграммой – масса, г/(м² · год) и доля «теплого» периода в годовом потоке.

составляет 62 % (41–78 % в годы исследований,  $CV = 28$  %). Также существенно участие ветвей (в среднем 16 %), образующих 4–41 % ( $CV = 231$  %), и коры сосны, на долю которой приходится 12 % (10–15 %,  $CV = 35$  %). Растительные остатки формируют 5 % от общего опада, шишки сосны – 3 %, хвоя ели и листья березы – по 1 %. Анализ межгодовой вариации показал, что достоверные различия отмечаются в массе поступающей хвои сосны ( $p_A = 0.002$ ), ветвей ( $p_{kw} < 0.001$ ) и растительных остатков ( $p_A = 0.032$ ) в периоды исследований, тогда как масса опада остальных фракций относительно стабильна в различные годы. Более интенсивный годовой опад хвои сосны ( $82.1 \text{ г/м}^2$ ) наблюдался в 2019/20 г., низкий – в 2021/22 г. тогда как в остальные этапы изучения значения этого показателя сопоставимо. Активное поступление ветвей ( $57.1 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ ) в зимний период 2021/22 г., превысившее в 4.5–14.6 раз ( $p_i < 0.05$ ) данные по остальным годам исследований, послужило причиной возрастания общего потока опада в этот год и снижения доли «теплого» периода до 58 % от годового цикла.

Анализ поступления опада в годы исследований в среднетаежных сосняках показал относительную стабильность этого показателя, которая может нарушаться в отдельные годы. В нашем случае пик наблюдался в 2021/22 г. и был обусловлен интенсивным поступлением ветвей в зимний период во всех сообществах. Ранee (Portillo-Estrada et al., 2013; Bhatti, Jassal,

2014) было показано, что на опад ветвей положительное влияние оказывает снеговая нагрузка в сочетании с сильными ветрами. Однако в сосняке черничном в этот год масса поступающего опада была сопоставима с другими периодами исследования, несмотря на возрастание количества ветвей в его составе. Следует отметить, что более высокие средние значения массы ветвей в сосняке бруснично-лишайниковом могут быть связаны с большой плотностью древостоя, в результате чего при сильных ветрах кроны соседних деревьев контактируют друг с другом, что ведет к дополнительной ломке ветвей. Аналогичные результаты, показывающие относительно постоянное (в среднем  $66.9 \pm 3.6 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ ), без тенденции к росту или снижению, поступление опада с редкими пиками, выявлены в сосняке лишайниково-кустарничково-зеленомошном на Кольском полуострове по данным 20-летних исследований (Иванова, Лукина, 2017).

В сосняках Карелии годовое поступление опада в сфагновом типе изменяется от 233 до 268 г/м², черничном – от 350 до 555, лишайниковом – 188 г/м² (Казимиров и др., 1977; Синькевич и др., 2009; Sin'kevich et al., 2009). Более высокие по сравнению с нашими данные, вероятно, обусловлены высоким классом бонитета в сосняках черничных этого региона. В зависимости от стадии развития насаждения в сосняках лишайниковых Красноярского края опадает 54–136 г/(м² · год) (Трефилова, Ведрова, 2018), зеленомошных – 139–157 г/(м² · год)

(Трефилова и др., 2011). Скорость поступления органического вещества из древесного яруса сосняков лишайниковых разного возраста на поверхность почвы в Финляндии варьирует в пределах 42–169 г/(м<sup>2</sup> · год), черничных – 93–490 г/(м<sup>2</sup> · год) (Starr et al., 2005; Ukonmaanaho et al., 2008; Portillo-Estrada et al., 2013; и др.), в сосняках лишайниковых и зеленомошных Канады – 80–130 г/(м<sup>2</sup> · год) (Bhatti, Jassal, 2014). В цитированных выше исследованиях показано, что хвоя сосны является доминирующей (41–92 %) фракцией с более высоким вкладом в молодняках (Uri et al., 2022). Это обусловлено ее небольшой продолжительностью жизни и необходимостью постоянного обновления данного компонента древостоя. Авторы также показывают преобладающую роль «теплого» периода в годовом распределении опада, что обусловлено активными ростовыми процессами в это время, а также отмиранием короткоживущих органов в осенние месяцы.

**Влияние типа леса на массу и фракционный состав поступающего древесного опада.** В связи с тем, что исследование проведено на одной территории в сходные сроки, было проанализировано влияние условий произрастания на массу и фракционный состав опада древесных растений. Количество поступающего опада в приспевающих и спелых среднетаежных сосняках на Чернамском стационаре зависит от типа леса (табл. 2).

Так, достоверно более высокие (в 1.2–2.2 раза) его темпы отмечены в загущенном сосняке бруснично-лишайниковом, отличающемся высокими запасами фитомассы (табл. 1). Промежуточное положение занимает спелый сосняк черничный, а наименее продуктивный сосняк сфагновый характеризуется низкой скоростью потока органического вещества из древесных растений на поверхность лесной подстилки.

В работе В. Berg и соавт. (1999) отмечено отсутствие достоверной корреляции между индексом  $N_{100}$  и опадом хвои сосны для сосняков Европы, тогда как она выявлена для сосняков Фенноскандии. В сосняках Финляндии на относительно плодородных почвах установлено более интенсивное поступление древесного опада и опада хвои, которое характеризовалось слабой (0.42 и 0.39 соответственно) корреляцией с типом леса (Starr et al., 2005). Авторы делают вывод, что использование типологии лесов при глобальных оценках поступления органического вещества из фитоценоза на поверхность почвы может быть ограничено отсутствием единого подхода к классификации лесных сообществ, применяемой в разных странах. Положительное, достоверное влияние индекса участка отмечено как для общего, так и опада хвои в сосняках Турции (Erkan et al., 2018).

Анализ влияния условий произрастания показал, что тип леса также достоверно влияет на участие хвои сосны, ее шишек и листьев бере-

**Таблица 2.** Оценка влияния типа леса на массу (в числителе) и долю фракции в общей массе (в знаменателе) поступающего древесного опада

Фракция	Влияние типа леса*	Парные сравнения**		
		Л–Ч	Л–С	Ч–С
Хвоя сосны	$F = 74.24; p < 0.001$ $F = 18.32; p = 0.002$	$< 0.001$ $< 0.001$	$< 0.001$ 0.421	0.001 0.035
Листья березы	$\chi^2 = 12.50; p = 0.002$ $\chi^2 = 13.50; p = 0.001$	$< 0.001$ $< 0.001$	$< 0.001$ $< 0.001$	$< 0.001$ $< 0.001$
Ветви	$F = 1.41; p = 0.282$ $\chi^2 = 0.99; p = 0.606$	0.092 0.396	0.008 0.309	0.367 0.714
Кора сосны	$\chi^2 = 9.98; p = 0.007$ $\chi^2 = 2.84; p = 0.242$	0.289 0.053	$< 0.001$ 0.922	$< 0.001$ 0.077
Шишки сосны	$F = 10.43; p = 0.002$ $F = 4.99; p = 0.026$	0.160 0.030	$< 0.001$ 0.057	$< 0.001$ $< 0.001$
Общая масса опада	$F = 59.65; p < 0.001$	0.001	$< 0.001$	$< 0.001$
Доля «теплого» периода	$F = 1.46; p = 0.270$	0.300	0.154	0.382

Примечание. Сосняки: Л – лишайниковый, С – сфагновый, Ч – черничный.

\* Приведен результат факторного анализа ANOVA (F) или критерия Краскелла – Уоллиса ( $\chi^2$ ).

\*\* Приведено значение *p*-value для парных сравнений с использованием *t*-критерия Стьюдента.

зы в общей массе. Установлена более высокая доля (59–62 %) хвои сосны в сосняках сфагновом и бруснично-лишайниковом, которая превышала в 1.2–1.3 раза аналогичный показатель в насаждении черничного типа. Существенное участие хвои сосны в сосняке сфагновом, вероятно, обусловлено меньшей продолжительностью ее жизни в условиях почвенного переувлажнения, тогда как в бруснично-лишайниковом сосняке на этот показатель влияет высокая загущенность древесного яруса, вследствие чего усиливается внутривидовая конкуренция и дифференциация деревьев по состоянию, ведущая к появлению в древостое усыхающих и ослабленных деревьев.

Доля шишек сосны в формировании массы опада достоверно выше насаждениях черничного и бруснично-лишайникового типов, тогда как вклад листьев березы убывает в ряду черничный → бруснично-лишайниковый → сфагновый. Участие листьев березы во многом обусловлено ее наличием в составе древостоя и подроста. Так, в процессе более чем 30-летних наблюдений за развитием древостоя сосняка сфагнового установлено выпадение березы из его состава (Осипов, Бобкова, 2016), которая в настоящее время в небольшом количестве (600 экз./га) присутствует в подросте. В черничном и бруснично-лишайниковом насаждениях береза входит в состав древесного яруса, кроме того, в количестве 1200 экз./га участвует в формировании подроста в сосняке черничном. Отсутствие различий во вкладе ветвей в общую массу опада в насаждениях разных типов во многом обусловлены большой вариацией этого показателя в течение периода наблюдений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В приспевающих и спелом среднетаежных сосняках разных типов по итогам пятилетних наблюдений отмечено относительно постоянное поступление опада древесных растений, которое может нарушаться в отдельные годы вследствие активного опада ветвей в зимний период. Хвоя сосны является доминирующей фракцией древесного опада, а ее доля участия возрастает в сосняке сфагновом на переувлажненной почве и снижается в сосняке черничном. Большая часть потока органического вещества из древесных растений на поверхность лесной подстилки формируется в течение «теплого» периода – с мая по октябрь. При анализе условий произрастания выявлено большая скорость по-

ступления опада в более продуктивных насаждениях сосняков. Кроме того, тип леса оказывает влияние на вклад листьев березы и шишек сосны. Полученные данные найдут применение при оценке круговорота веществ и углерода, в частности в сосняках на севере таежной зоны.

*Автор выражает благодарность Кузнецову Михаилу Андреевичу за помощь, оказанную при сборе экспериментального материала. Работа выполнена в рамках темы НИР ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем Европейского Северо-Востока России», номер государственной регистрации 122040100031-8.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Безкоровайная И. Н., Егунова М. Н., Таскаева А. А. Почвенные беспозвоночные и их трофическая активность в 40-летних лесных культурах // Сиб. экол. журн. 2017. № 5. С. 609–620.
- Бобкова К. С., Смоленцева Н. Л., Тужилкина В. В., Артемов В. А. Круговорот азота и зольных элементов в сосново-еловом насаждении средней тайги // Лесоведение. 1982. № 5. С. 3–11.
- Брянин С. В., Абрамова Е. Р. Опад фитомассы в постпирогенных лиственничниках Зейского заповедника (Верхнее Приамурье) // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 93–101.
- Иванова Е. А., Лукина Н. В. Варьирование массы и фракционного состава древесного опада в сосняках кустарничково-лишайниковых при аэротехногенном загрязнении // Лесоведение. 2017. № 5. С. 47–58.
- Кузнецова А. И. Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) // Вопр. лесн. науки. 2021. Т. 4. № 4. Ст. № 95. 54 с.
- Никонов В. В. Почвообразование на северном пределе основных биогеоценозов. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. 142 с.
- Никонов В. В., Лукина Н. В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: Изд-во Карел. НЦ РАН, 1994. 315 с.
- Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н. И. Казимиров, А. Д. Волков, С. С. Зябченко и др. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1977. 304 с.
- Осипов А. Ф. Запасы и потоки органического углерода в экосистеме спелого сосняка черничного средней тайги // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 70–80.
- Осипов А. Ф., Бобкова К. С. Биологическая продуктивность и фиксация углерода среднетаежными сосняками при переходе из средневозрастных в спелые // Лесоведение. 2016. № 5. С. 346–354.
- Прокушкин С. Г., Петренко А. Е., Зырянова О. А., Прокушкин А. С. Запасы фитодетрита и его биогенных элементов в лиственничниках малого водосборного бассейна

- Центральной Эвенкии // Сиб. лесн. журн. 2022. № 6. С. 34–44.
- Синькевич С. М., Бахмет О. Н., Иванчиков А. А. Роль почв в региональном балансе углерода в сосновых лесах Карелии // Почвоведение. 2009. № 3. С. 290–300.
- Трефилова О. В., Ведрова Э. Ф., Кузьмичев В. В. Годичный цикл углерода в зеленомошных сосняках Енисейской равнины // Лесоведение. 2011. № 1. С. 3–12.
- Трефилова О. В., Ведрова Э. Ф. Минерализационный поток углерода в постпирогенных сосняках Среднего Енисея // Лесоведение. 2018. № 3. С. 210–224.
- Чертов О. Г., Грабарник П. Я., Шанин В. Н., Быховец С. С., Петропавловский Б. С., Припутина И. В., Фролов П. В., Зубкова Е. В. Динамические модели наземных экосистем для количественной оценки продуктивности растительности // Раст. рес. 2019. Т. 55. № 2. С. 151–169.
- Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока / К. С. Бобкова, В. В. Тужилкина, С. Н. Сенькина / Под ред. К. С. Бобковой. Сыктывкар, 1993. 176 с.
- Berg B., Albrektson A., Berg M. P., Cortina J., Johansson M.-B., Gallardo A., Madeira M., Pausas J., Kriatz W., Vallejo R., McClaugherty C. Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine // Ann. For. Sci. 1999. V. 56. N. 8. P. 625–639.
- Bezkorovaynaya I. N., Egunova M. N., Taskaeva A. A. Soil invertebrates and their trophic activity in 40-year-old forest stands // Contemp. Probl. Ecol. 2017. V. 10. N. 5. P. 524–533 (Original Rus. Text © I. N. Bezkorovaynaya, M. N. Egunova, A. A. Taskaeva, 2017, publ. in Sib. ecol. zhurn. 2017. N. 5. P. 609–620).
- Bhatti J. S., Jassal R. S. Long term aboveground litterfall production in boreal jack pine (*Pinus banksiana*) and black spruce (*Picea mariana*) stands along the Boreal Forest Transect Case Study in western central Canada // Eco-science. 2014. V. 21. Iss. 3–4. P. 301–314.
- Erkan N., Comez A., Aydin A. C., Denli O., Erkan S. Litterfall in relation to stand parameters and climatic factors in *Pinus brutia* forests in Turkey // Scand. J. For. Res. 2018. V. 33. Iss. 4. P. 338–346.
- Jevon F. V., Polussa A., Lang A. K., Munger J. W., Wood S. A., Wieder W. R., Bradford M. A. Patterns and controls of aboveground litter inputs to temperate forests // Biogeochemistry. 2022. V. 161. Iss. 3. P. 335–352.
- Komarov A. S., Shanin V. N. Comparative analysis of the influence of climate change and nitrogen deposition on carbon sequestration in forest ecosystems in European Russia: simulation modelling approach // Biogeosciences Discuss. 2012. V. 9. Iss. 6. P. 6829–6855.
- Krishna M. P., Mohan M. Litter decomposition in forest ecosystems: a review // Energy, Ecol. and Environ. 2017. V. 2. N. 3. P. 236–249.
- Kuz'yakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: concept & review // Soil Biol. Biochem. 2015. V. 83. P. 184–199.
- Lehtonen A., Lindholm M., Hokkanen T., Salminen H., Jalkanen R. Testing dependence between growth and needle litterfall in Scots pine – a case study in northern Finland // Tree Physiol. 2008. V. 28. Iss. 11. P. 1741–1749.
- Portillo-Estrada M., Korhonen J. F. J., Pihlatie M., Puttonen J., Frumau A. K. F., Morillas L., Tosens T., Niinemets Ü. Inter- and intra-annual variations in canopy fine litterfall and carbon and nitrogen inputs to the forest floor in two European coniferous forests // Ann. For. Sci. 2013. V. 70. Iss. 4. P. 367–379.
- Shen G., Chen D., Wu Y., Liu L., Liu C. Spatial patterns and estimates of global forest litterfall // Ecosphere. 2019. V. 10. Iss. 2. Article e02587.
- Sin'kevich S. M., Bakhmet O. N., Ivanchikov A. A. The role of soils in the regional carbon budget of pine forests in Karelia // Euras. Soil Sci. 2009. V. 42. N. 3. P. 267–276 (Original Rus. Text © S. M. Sin'kevich, O. N. Bakhmet, A. A. Ivanchikov, 2009, publ. in Pochvovedenie. 2009. N. 3. P. 290–300).
- Starr M., Saarsalmi A., Hokkanen T., Merilä P., Helmi-saari H.-S. Models of litterfall production for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland using stand, site and climate factors // For. Ecol. Manag. 2005. V. 205. Iss. 1–3. P. 215–225.
- Ukonmaanaho L., Merilä P., Nöjd P., Nieminen T. M. Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland // Boreal Environ. Res. 2008. V. 13 (suppl. B). P. 67–91.
- Uri V., Kukumägi M., Aosaar J., Varik M., Becker H., Aun K., Nikopensius M., Uri M., Buht M., Sepaste A., Padari A., Asi E., Sims A., Karoles K. Litterfall dynamics in Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula*) stands in Estonia // For. Ecol. Manag. 2022. V. 520. Article 120417.

## WOOD LITTER INPUT TO THE SOIL SURFACE OF MIDDLE TAIGA PINE FORESTS IN THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA

A. F. Osipov

*Institute of Biology Komi Science Centre, Russian Academy of Sciences, Ural Branch  
Kommunisticheskaya str., 28, Syktyvkar, Komi Republic, 167982 Russian Federation*

---

E-mail: osipov@ib.komisc.ru

Plant litter is a connecting flux between plants and soil, and the rate of soil organic matter accumulation depends on its decomposition. Despite the abundance of data on the mass of litterfall in Russian pine forests, generalized assessments of the influence of growing conditions on this process are rare. Approximately constant rate of organic matter flux from tree plants on forest floor surface was detected base on 5 years of observation (during 2017–2022) that can rarely be disturbed due to significant litterfall of branches during winter. The tree litterfall influx in pine forest of *Lichen* type was 233.4 g/m<sup>2</sup> per year, in bilberry type pine forest – 206.1, and in *Sphagnosa* type pine forest – 109.6 g/m<sup>2</sup> per year much of that (66–72 %) formed from May to October. In relatively clear on composition pine forests pine needle produce 48–62 % from total litterfall. Branches (predominantly pine) and pine bark has a significant input that reach to 12–16 % and 12–14 % from tree litterfall, respectively. Growing conditions influence the share of birch (*Betula* L.) eaves, pine needle and cones in total mass of litterfall. Obtained data can be used to assess the cycle of matter and carbon in the pine forests of the northern taiga zone.

**Keywords:** *pine forests, litter fall, forest type, middle taiga.*

**How to cite:** *Osipov A. F. Wood litter input to the soil surface of middle taiga pine forests in the European North-East of Russia // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 103–111 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 632.4:630.2

## СОСТОЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЯХ

А. А. Шишкина, Н. Н. Карпун

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова  
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

E-mail: frbg@mail.ru, nkolem@mail.ru

Поступила в редакцию 21.03.2024 г.

Опыт создания и изучения географических культур показывает существование зависимости между успешностью выращивания деревьев и их происхождением. Некоторые климатипы способны превосходить местные по сохранности, продуктивности, урожайности и другим показателям. При отборе успешных климатипов важно учитывать устойчивость древостоев к различным неблагоприятным факторам среды, в том числе к грибным болезням. К наиболее опасным заболеваниям сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) относится гниль корней, вызываемая корневой губкой (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). Исследования проводили в географических культурах сосны обыкновенной на территории Авсюнинского участкового лесничества Орехово-Зуевского лесничества (восточная часть Московской области) в 2016–2023 гг. Оценено современное санитарное и фитопатологическое состояние 38 климатипов, а также примыкающих сосновых древостоев местного происхождения. Выявлен комплекс из 12 видов дендротрофных грибов, развивающихся на сосне, из которых наибольший ущерб причиняет корневая губка. На участках обнаружены многочисленные очаги усыхания, связанного с развитием этого патогена. Пораженность разных климатипов сосны неодинаковая. Установлено, что в общей сложности 22 климатипа превосходят древостои местного происхождения по комплексу фитопатологических показателей. К успешным отнесены климатипы из северо-западных и западных климатипов относительно места испытания районов (Литва, Эстония, Брестская область Беларуси), а также некоторые климатипы из соседних регионов (Смоленская, Брянская, Рязанская области). Почти все климатипы с неудовлетворительным состоянием имеют восточное происхождение относительно места испытания (Костромская, Самарская, Свердловская, Новосибирская области). При этом успешны культуры сосны из Удмуртии, Башкортостана, Омской области и Якутии – регионов, весьма удаленных в восточном направлении от объекта исследования.

**Ключевые слова:** климатипы, успешность климатипов, болезни леса, гниль древесины корней, корневая губка, *Heterobasidion annosum*, очаг.

DOI: 10.15372/SJFS20240512

### ВВЕДЕНИЕ

Географические культуры создаются для изучения особенностей роста разных климатипов лесных пород в новых условиях местопроизрастания (Писаренко и др., 1992). Для этого проводят оценку их сохранности, продуктивности, урожайности и других показателей. Результаты опытов с географическими культурами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в России и за рубежом показали существование зависимости между успешностью выращивания деревьев и их происхождением (Огиевский, 1966;

Dietrichson, 1968; Тимофеев, 1978; Karlman, 1986; Писаренко и др., 1992; Zhelev, Lust, 1999; Наквасина и др., 2001; Jansons, Baumanis, 2005; Кузьмина, Кузьмин, 2009; Barzdajn et al., 2016; Мерзленко и др., 2017; Szeligowski et al., 2023). В процессе исследования хорошие результаты по сохранности и продуктивности показали сосны из Прибалтики (Латвия, Литва), Беларуси (Минская, Могилевская области), Украины (Черниговская, Волынская, Сумская области), а также из Центрально-Черноземных областей России. Очень плохая сохранность отмечена у самых северных, самых южных и всех азиат-

ских климатипов сосны, а также у климатипов из Пермского края (Писаренко и др., 1992).

Интересными объектами для изучения стали географические культуры сосны обыкновенной, заложенные в Авсюнинском участковом лесничестве Орехово-Зуевского лесничества в восточной части Московской области С. А. Ростовцевым и Е. П. Проказиным в 1966–1967 гг. Число испытываемых климатипов – 52, число повторностей – 1–4. Культуры создавались двухлетними сеянцами, посадку осуществляли по бывшей пашне (шаг посадки 0.75 м, ширина междурядий – 1.5 м). Тип лесорастительных условий на участке – свежая простая суборь (В2) (Паспорт..., 2018). На этом объекте ранее проводилась оценка лесоводственных параметров (продуктивности и сохранности) выборочных климатипов (Мельник, 2020), однако фитопатологическое состояние и успешность культур в зависимости от разного географического происхождения на предмет пораженности болезнями не изучали.

В условиях рекреационных лесов Подмосковья при отборе успешных климатипов сосны важно учитывать не только продуктивность древостоев, но и их устойчивость к различным неблагоприятным факторам среды, в том числе к грибным болезням. Публикаций по этому вопросу немного, и в основном они посвящены изучению заболеваний хвои, развивающихся на молодых соснах, таких как обыкновенное (возбудитель – *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley & Millar) и снежное шютте (возбудитель – *Gremmenia infestans* (P. Karst.) Crous (= *Phacidium infestans* P. Karst.)) (Синадский, 1983; Писаренко и др., 1992; Крутов, Минкевич, 2002; Кузьмина, Кузьмин, 2009; Гродницкая, Кузнецова, 2012). Болезни взрослых географических культур с учетом происхождения климатипов в России рассматривались в единичных работах (Павлов и др., 2008; Варенцова, Николаева, 2018).

К наиболее опасным заболеваниям в насаждениях сосны относится гниль корней, вызываемая корневой губкой (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). В части исследований, рассматривающих особенности распространения очагов этого патогена в географических культурах, не установлено закономерностей между пораженностью деревьев и их происхождением (Karlman, 1986; Павлов и др., 2008). Но в единичных работах, выполненных в Беларуси и Украине, была выявлена разница в устойчивости климатипов сосны к корневой губке: самыми жизнеспособными признаны климатипы из

западных и северо-западных районов относительно места испытания, поражаемыми – восточные и юго-восточные (Ладейщикова, 1974; Рапунович, Якимов, 1996).

Так как сведения о пораженности грибными заболеваниями сосны разного происхождения очень малочисленны и разрознены, актуальным направлением исследований является изучение большего количества объектов с опытными географическими посадками.

Цель исследования заключалась в оценке состояния и выявлении различий в степени поражения грибными болезнями разных климатипов сосны в условиях восточной части Московской области, а также проведение сравнительного анализа их успешности.

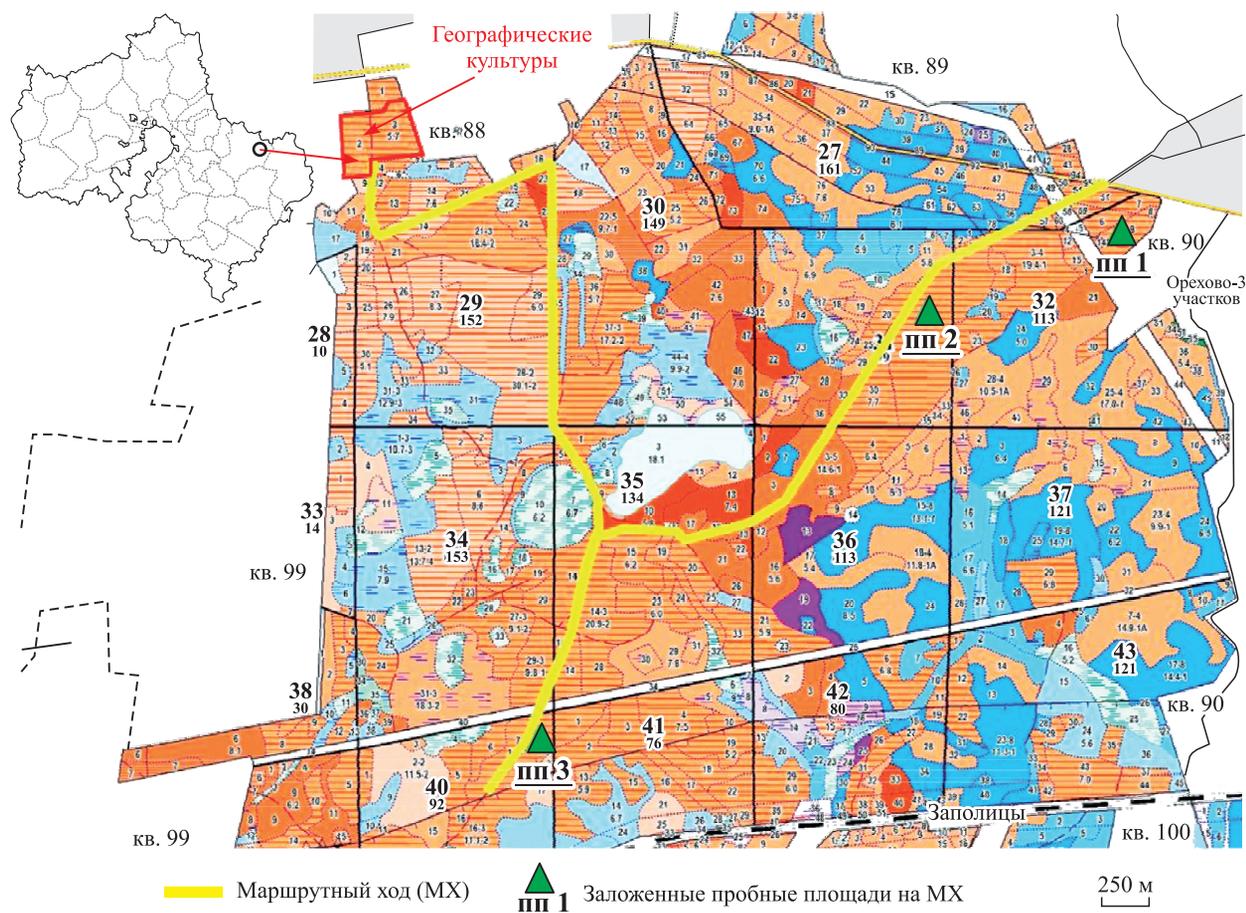
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили с 2016 по 2023 г. в географических культурах сосны, расположенных в выделах 2 и 3 квартала 29 Авсюнинского участкового лесничества Орехово-Зуевского лесничества Московской области. Площадь участка 12.8 га. Санитарное состояние культур и степень их поражения грибными болезнями оценивали в ходе инструментального и визуального обследования. При инструментальном обследовании проводили детальное описание деревьев на временных пробных площадях (пп), заложенных по непровешенной ходовой линии. На каждой пп, представленной определенным климатипом сосны, в перечень включали не менее 30 деревьев. В настоящей работе приведены результаты оценки состояния 38 климатипов на 50 пп.

Для определения степени поражения корневой губкой сосновых древостоев местного происхождения, примыкающих к исследуемым географическим культурам, проводили их визуальное обследование на маршруте длиной 10 км (рис. 1). В ходе работ глазомерно оценивали санитарное состояние и степень поражения древостоев на всех лесотаксационных выделах, пересекаемых маршрутом.

Обследованим охвачено 57 лесотаксационных выделов общей площадью 293.8 га. В трех выделах с обнаруженными очагами корневой губки для уточнения степени поражения древостоев заложили пп с перечетом не менее 200 деревьев на каждой пп.

Древостои оценивали по средневзвешенной категории санитарного состояния (СКС), рас-



**Рис. 1.** Схема маршрутного хода и обследованных сосновых насаждений, примыкающих к географическим культурам Авсюнинского участкового лесничества.

считанной исходя из распределения запасов деревьев по категориям состояния по общепринятой методике (Воронцов и др., 1991; Методы..., 2004; Правила..., 2020). На каждой пп определяли значение текущего и общего отпада. Текущий отпад (%) вычисляли как долю запаса усыхающих деревьев и свежего сухостоя от общего запаса всех деревьев на пп; общий отпад (%) – как долю усыхающих деревьев, свежего и старого сухостоя от общего запаса всех деревьев на пп.

Для оценки наличия на участке очагов инфекционных болезней выявляли видовой состав фитопатогенов и оценивали их встречаемость. К массовым относили виды грибов, отмеченные на более чем 50 % деревьев, характеризующихся высокой степенью поражения кроны и отдельных органов; к обычным – виды, отмеченные на 10–50 % деревьев с низкой или средней степенью поражения кроны и отдельных органов, к редким – виды, отмеченные всего несколько раз за период исследования (менее 10 %), к единичным – виды, отмеченные один раз за период исследования.

Видовую принадлежность грибов определяли классическими методами с использованием отечественных и зарубежных определителей (Бондарцев, 1953; Sinclair, Lyon, 2005; Соколова, Галасьева, 2008; Жуков и др., 2013; Стороженко и др., 2014). Для части образцов идентификация видов грибов подтверждена с помощью генетического анализа в лаборатории отдела мониторинга состояния лесных генетических ресурсов ФБУ «Рослесозащита». Для получения достоверных результатов образцы отбирали в двух повторностях. Анализ выделенной ДНК проводили в два этапа: методом полимеразной цепной реакции с универсальными праймерами для определения рибосомального гена грибов ITS и методом прямого секвенсового определения нуклеотидных последовательностей на генетическом анализаторе Applied Biosystems 3500.

Степень поражения (или пораженность) древостоя корневой губкой устанавливали по доле запаса деревьев с признаками поражения от общего запаса деревьев на пп: слабая – пораженных деревьев менее 10 %, средняя – от 10 до 20 %, сильная – 20 % и более. Динамику роста

куртин усыхания, выявленных в ходе полевых работ, дополнительно изучали по ретроспективным космическим снимкам высокого разрешения с использованием общедоступного сервиса Google Earth Pro.

Для сравнения успешности разных климатипов сосны они были разделены на 16 групп по общности географического происхождения на основе классификации А. А. Крюденера (1917) (для европейских климатипов) и Перечня лесных районов Российской Федерации (2014) (для азиатских климатипов): 1) Волго-Камская область: Марий Эл, Татарстан, Удмуртия; 2) Восточно-Сибирский район: Саха (Якутия); 3) Дальневосточный таежный район: Хабаровский край; 4) Заволжье: Башкортостан, Самарская область; 5) Заднепровье: Тернопольская и Львовская области Украины; 6) Западно-Сибирский район: Омская область; 7) Засурье: Мордовия, Чувашия; 8) Зауралье: Свердловская, Челябинская области; 9) Иртышско-Обский район: Алтайский край, Новосибирская область; 10) Полесье: Брянская, Орловская области России, Минская, Могилевская области Белоруссии, Волынская, Ровенская, Сумская, Черниговская области Украины; 11) Прибалтийская область: Литва, Эстония, Витебская область Белоруссии, Псковская область России; 12) Привислинская область: Брестская, Гродненская области Белоруссии; 13) Приозерная область: Ленинградская область; 14) Центральная область: Владимирская, Костромская, Московская, Рязанская, Смоленская области; 15) Южно-Русская область: Курская область; 16) Южный Урал, район степей: Оренбургская область (Крюденер, 1917; Перечень..., 2014).

В качестве контроля при сравнении климатипов по району происхождения была выбрана Центральная область, в которую вошел местный климатип из Московской области, дополнительно рассматривали состояние примыкающих насаждений местного происхождения.

Успешность климатипов оценивали по следующим трем показателям, характеризующим их санитарное и фитопатологическое состояние: СКС; пораженность культур корневой губкой (ПКГ), %; суммарная доля условно здоровых деревьев I и II категорий состояния (СI, II), %. При этом использовали методические принципы определения успешности климатипов по лесоводственным характеристикам (Мерзленко, Мельник, 1995). Методика расчетов состояла из следующих этапов:

1) расчет абсолютной успешности климатипа ( $U$ ):

$$U = X_p - X_m, \quad (1)$$

где  $X_p$  – среднеарифметический показатель по каждому климатипу;  $X_m$  – среднеарифметический показатель генеральной совокупности;

2) расчет в долях стандартного отклонения относительной успешности испытываемого климатипа ( $Q$ ):

$$Q = \frac{U}{\sigma}, \quad (2)$$

где  $U$  – абсолютная успешность климатипа по конкретному показателю;  $\sigma$  – стандартное отклонение по всей выборке опыта;

3) получение обобщенного показателя успешности климатипа ( $\Phi$ ):

$$\Phi = \frac{Q_{СКС} + Q_{ПКГ} + Q_{СI, II}}{3}, \quad (3)$$

где  $Q_{СКС}$  – относительная успешность климатипа по СКС;  $Q_{ПКГ}$  – относительная успешность климатипа по ПКГ;  $Q_{СI, II}$  – относительная успешность климатипа по СI, II.

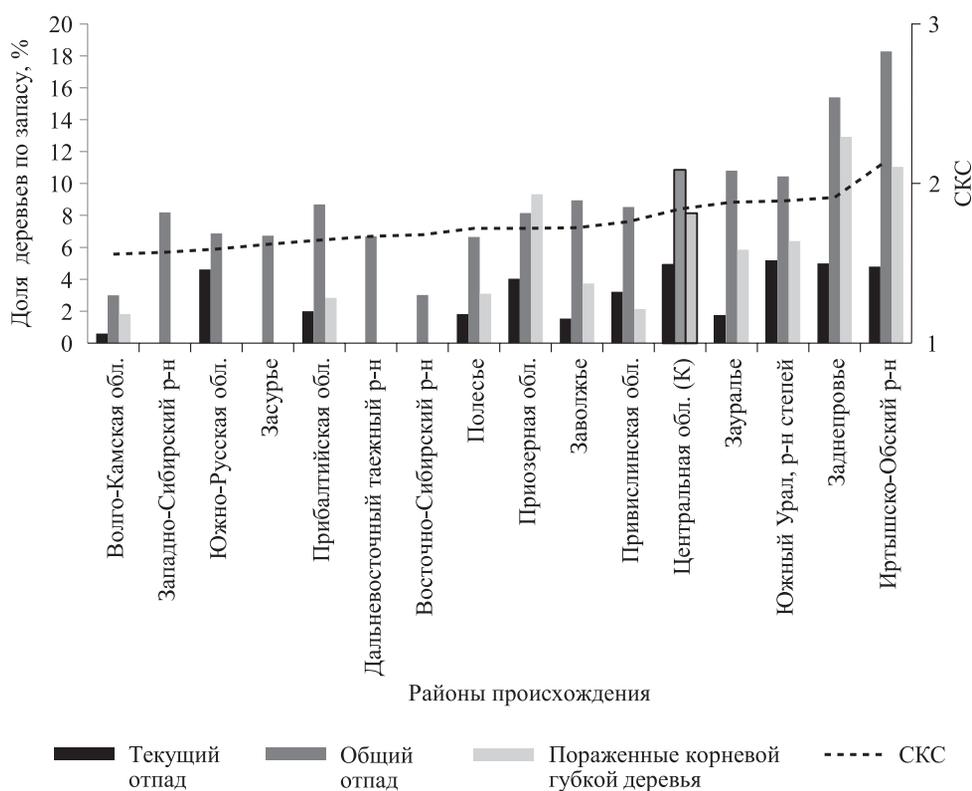
Успешность климатипов оценивали по следующим градациям: успешные, с удовлетворительным состоянием и неблагоприятные. К успешным были отнесены все климатипы, у которых значение обобщенного показателя успешности получилось менее  $-0.5$ , к неблагоприятным – более  $1.0$ . Показатель успешности, приближенный к нулю, означал среднее значение данного показателя по всей выборке.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Санитарное состояние.** У исследуемых культур в целом оно ослабленное, что выражается в изреженности крон, наличии отпада, буреломных деревьев, но наиболее заметное ухудшение состояния древостоев наблюдается при образовании в них куртин усыхания.

При сравнении санитарного состояния климатипов (СКС) по районам происхождения установлено, что большинство сосен из других районов характеризуется более успешным состоянием по сравнению с контрольной группой из Центральной области (рис. 2).

Культуры, представляющие северо-западные, западные и юго-западные районы (Прибалтийская, Привислинская, Приозерная области, Полесье, Южно-Русская область), на объекте исследования в целом признаны перспектив-



**Рис. 2.** Средневзвешенная категория состояния, доля отпада и пораженных корневой губкой деревьев по группам происхождения в географических культурах сосны Авсюнинского участкового лесничества.

Контурными линиями черного цвета выделены показатели для группы климатипов из Центральной области (контроль).

ными. Исключением являются посадки сосны из юго-западного района Заднепровья, которые имеют более ослабленное состояние.

Климатипы, происходящие из районов, расположенных восточнее относительно контроля, показали разные результаты: среди них отмечены как удовлетворительные по санитарному состоянию климатипы из Волго-Камской области, Засурья, Заволжья, Западно-Сибирского, Восточно-Сибирского и Дальневосточного таежного районов, так и более ослабленные из Зауралья, степей Южного Урала, Иртышско-Обского района.

Внутри контрольной группы из Центральной области успешными являются культуры Смоленской области, расположенной западнее места испытания, в то время как «восточные» климатипы Костромской и Владимирской областей характеризуются относительно худшим состоянием.

**Фитопатологическое состояние.** В обследованных культурах на сосне выявлен комплекс грибов, поражающих разные органы деревьев (см. таблицу).

Наибольшее влияние на ухудшение состояния древостоев оказывает корневая губка –

возбудитель корневой гнили сосны. Средняя степень поражения этим патогеном географических культур составляет 4.6 %, примыкающих насаждений местного происхождения – 1.6 %.

Из антагонистов корневой губки в географических культурах на буреломных и сухостойных деревьях обнаружены окаймленный трутовик и еловая кожистая губка. Также на отдельных сухостойных деревьях были отмечены мицелиальные пленки опенка осеннего. Из других деструктивных грибов в единичной встречаемости выявлены ксилотрофы – ишнодерма смолистая и дипломитопорус. Эти виды обнаружены на мертвой древесине пней и буреломных деревьев.

Из группы некрозно-раковых болезней в редких случаях отмечен смоляной рак сосны, возбудителем которого является гриб *Cronartium pini* (Willd.) Jørst. (= *Cronartium flaccidum* (Alb. & Schwein.) G. Winter, *Peridermium pini* (Willd.) J. C. Schmidt & Kunze). Болезнь вызывает ослабление деревьев, частичную или полную сухокронность. Высокий уровень поражения приводит к расстройству насаждений. Особенно сильное отмирание деревьев после этой болезни

Выявленные виды грибов, развивающихся на сосне в географических культурах Авсюнинского участкового лесничества Орехово-Зуевского лесничества Московской области (2016–2023 гг.)

Вид	Субстрат	Вызываемая болезнь	Встречаемость
<i>Armillaria mellea</i> sensu lato (опенок осенний)	Корни, корневая шейка, нижняя часть ствола сухостойных деревьев	Гниль древесины	Единичная
<i>Cronartium pini</i> (Willd.) Jørst. (= <i>Cronartium flaccidum</i> (Alb. & Schwein.) G. Winter, <i>Peridermium pini</i> (Willd.) J. C. Schmidt & Kunze)	Стволы, ветви	Смоляной рак сосны	Редкая
<i>Diplomitoporus flavescens</i> (Bres.) Domański (дипломитопорус желтеющий)	Стволы сухостойных деревьев	Гниль древесины	Единичная
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst. (окаймленный трутовик)	Стволы сухостойных деревьев, бурелома	Комлевая и стволовая гниль	Редкая
<i>Heterobasidion annosum</i> (Fr.) Bref. (корневая губка)	Корни, корневая шейка, усыхающие и сухостойные деревья	Гниль древесины	Обычная
<i>Ischnoderma resinosum</i> (Schrad.) P. Karst. (ишнодерма смолистая)	Древесина, пень	» »	Единичная
<i>Lophodermium pinastri</i> (Schrad.) Chevall.	Усохшая хвоя, опад	Шютте	Обычная
<i>Ceratocystis minor</i> (Hedgc.) J. Hunt (= <i>Ophiostoma minus</i> (Hedgc.) Syd. & P. Syd.)	Заболонная древесина усыхающих и сухостойных деревьев	Офиостомоз хвойных пород	Редкая
<i>Sphaeropsis sapinea</i> (Fr.) Dyko & B. Sutton (= <i>Diplodia pinea</i> (Desm.) J. Kickx f.)	Усохшие и усыхающие побеги, ветви в опад, тонкие стволы	Сферопсисовый некроз (диплодиоз) побегов, побурение хвои, усыхание почек, поражение шишек	Обычная
<i>Sydowia polyspora</i> (Bref.) E. Müll.	Усохшая хвоя, побеги	Склерофомоз (некроз и искривление побегов, побурение хвои)	Редкая
<i>Therrya pini</i> (Alb. & Schwein.) Höhn.	Усохшие ветви	Некроз ветвей	Редкая
<i>Trichaptum abietinum</i> (Dicks.) Ryvarden (еловая кожистая губка)	Стволы сухостойных деревьев, бурелома	Гниль древесины	Обычная

наблюдается вследствие засушливых условий в течение вегетационного периода (Синадский, 1983).

Офиостомовый гриб *Ceratocystis minor* (Hedgc.) J. Hunt (= *Ophiostoma minus* (Hedgc.) Syd. & P. Syd.) выявлен на усыхающих соснах с черным налетом под корой и в заболонной древесине. Пораженные деревья были отработаны или заселены обычными для Московской области стволовыми вредителями – большим (*Tomicus piniperda* (L.)) и малым (*Tomicus minor* (Hartig)) сосновыми лубоедами, усачами (Cerambycidae). О патогенной роли офиостомовых грибов для хвойных пород отмечалось в отечественной и зарубежной литературе (Hemingway et al., 1977; Пашенова и др., 2009; Davydenko et al., 2017; Pastirčáková et al., 2018).

Согласно этим исследованиям, малый сосновый лубоед обычно заражает сосны во время их повреждения стволовыми вредителями, но именно гриб ослабляет дерево, снижая его защитные реакции.

На опавших хвое, ветвях и тонких стволах обнаружен потенциально опасный вид *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko & B. Sutton (= *Diplodia pinea* (Desm.) J. Kickx f.), возбудитель диплодиоза. Этот патогенный гриб приводит к усыханию побегов и почек, побурению хвои и способен вызывать массовое поражение сосны (Sinclair, Lyon, 2005; Азовская и др., 2015; Brodde et al., 2019).

На хвое опада выявлен гриб *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chevall., являющийся возбудителем обыкновенного шютте (Ведерников,

Яковлев, 1972). Этот вид известен как слабый патоген, заселяющий хвою растений, ослабленных вследствие неблагоприятных условий роста (Sinclair, Lyon, 2005).

Таким образом, из всего комплекса обнаруженных грибов самым распространенным и опасным видом, вызвавшим очаги усыхания, является корневая губка. В связи с проведением обследования в географических культурах важным вопросом стало определение степени поражения этим патогеном разных климатипов сосны.

**Пораженность географических культур корневой губкой.** По данным космических снимков разных лет, очаги усыхания на исследуемых участках начали активно формироваться в 2004–2011 гг., когда культуры достигли III класса возраста. Именно в этот период сосновые древостои наиболее подвержены поражению корневой губкой (Негруцкий, 1973).

За последнее десятилетие наблюдалось усыхание деревьев в возникших очагах. Среднее значение текущего отпада по данным полевых учетов 2016, 2021 и 2023 гг. составляло соответственно 4,0, 3,1 и 2,6 %. Для древостоев 56-летнего возраста и Ia класса бонитета нормальный текущий отпад равен 0,9 % (Мозолевская и др., 1984). Следовательно, в настоящее время этот показатель превышен почти в 3 раза. Усыха-

ют преимущественно угнетенные деревья, но в ближайшие годы возможно разрастание очагов и заражение деревьев основного полога.

Признаки наличия корневой губки отмечены на пп 20, что составляет более трети от обследованных участков. Пораженность деревьев на них варьирует от 0,6 до 38,8 %.

При сравнении климатипов по районам происхождения установлено, что почти все группы климатипов поражены в меньшей степени, чем группа из Центральной области (рис. 2). Климатипы из северо-западных и западных районов поражены в слабой степени или характеризуются отсутствием очагов. У восточных и юго-западных групп климатипов ситуация неоднородная: отмечено как поражение от слабой до сильной степени, так и полное отсутствие очагов усыхания.

Самые крупные куртины усыхания площадью 0,07 га с поражением более 20 деревьев выявлены на пп климатипов из Костромской и Новосибирской областей, Тернопольской области Украины (рис. 3, 4). Для них характерна сильная степень поражения древостоя.

Поражение древостоев средней степени отмечено на шести пп климатипов из Самарской, Свердловской, Псковской, Ленинградской областей, Гродненской и Минской областей Беларуси.

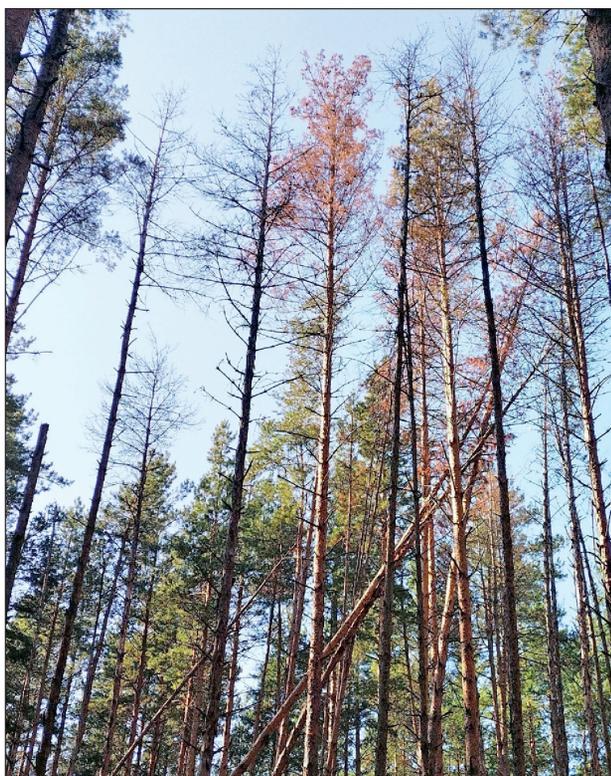
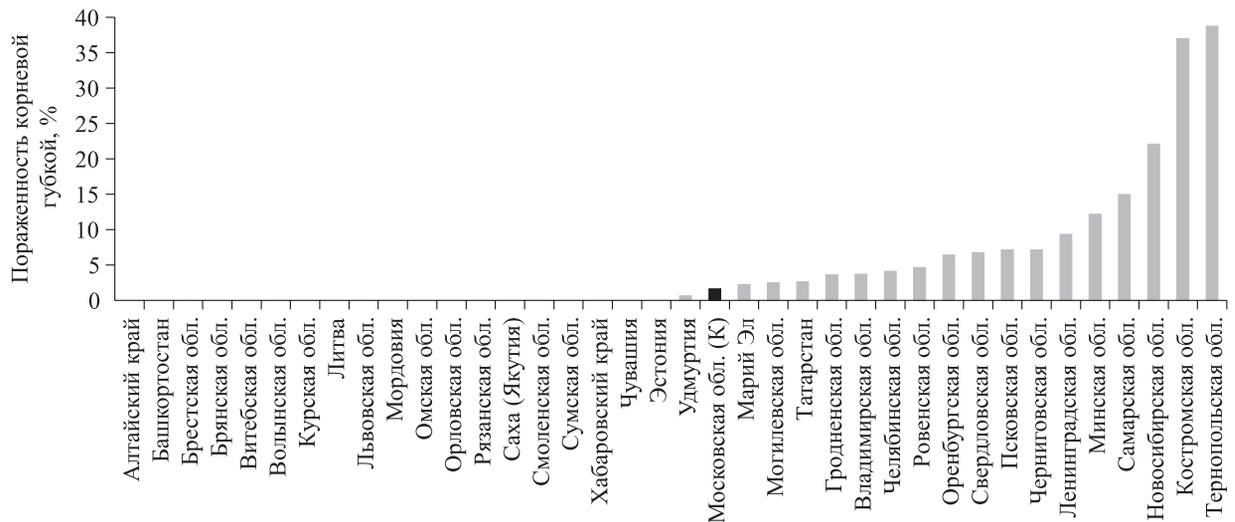


Рис. 3. Очаги усыхания на пробной площади с сосной происхождения из Костромской области. 2023 г.



**Рис. 4.** Пораженность корневой губкой климатипов сосны в географических культурах Авсюнинского участкового лесничества.

Столбец черного цвета – Московская обл; К – контроль.

Слабая степень поражения установлена на пп в культурах сосны происхождением из Владимирской, Ленинградской, Оренбургской и Челябинской областей, Татарстана, Марий Эл и Удмуртии, Ровенской и Черниговской областей Украины, Могилевской области Беларуси. На остальных обследованных участках очагов усыхания от корневой губки не обнаружено.

Некоторые куртины поражения охватывают одновременно два и более климатипа, расположенных на смежных участках. В ближайшие годы возможно заражение климатипов, не имеющих в настоящее время признаков патологического усыхания.

**В древостоях местного происхождения,** примыкающих к географическим культурам, пораженность корневой губкой составляет в среднем 1.6 %. Очаги усыхания обнаружены в девяти лесотаксационных выделах, на общей площади 72.1 га, что составляет 24.5 % от обследованной площади. Степень поражения варьирует от 2.0 до 11.4 %. Большинство очагов выявлено в древостоях с участием сосны в составе 9–10 ед. В большей степени поражены насаждения искусственного происхождения III и IV классов возраста.

В сосняках местного происхождения III класса возраста (одного класса возраста с изучаемыми географическими культурами), очаги корневой губки отмечены на двух из 23 выделов (15.5 % от площади обследованных насаждений III класса возраста). В схожих лесорастительных условиях в примыкающих древостоях старшего возраста куртины усыхания выявлены уже на

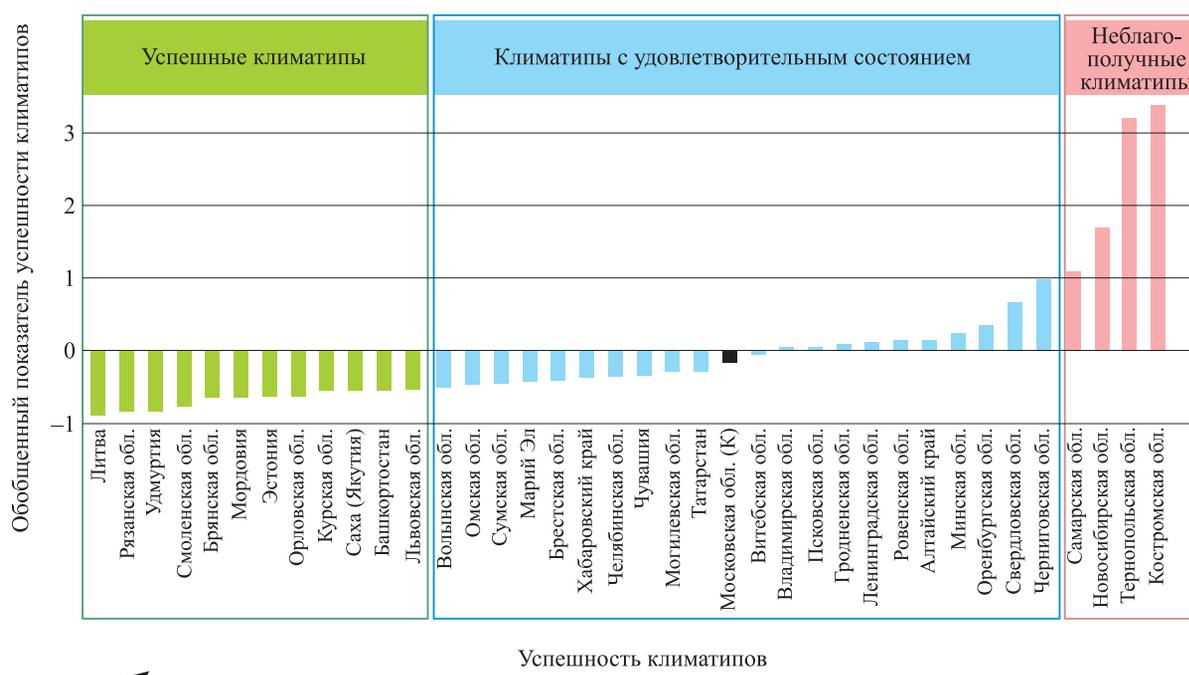
шести из 26 выделов (37.4 % от общей площади обследованных насаждений IV–VII классов возраста). Весьма вероятно, что в ближайшие годы распространение инфекции продолжится как в географических культурах, так и в древостоях местного происхождения.

**Сравнительная оценка успешности климатипов по комплексу фитопатологических показателей.** Установлено, что в общей сложности 22 климатипа сосны превосходят древостои местного происхождения (рис. 5). Контрольный климатип характеризуется удовлетворительным состоянием.

В целом по комплексу фитопатологических показателей к успешным относятся:

– климатипы из северо-западных и западных регионов – Смоленская область России, Литва, Эстония, Брестская и Могилевская области Беларуси. На их успешность уже указывали в Украине, в Беларуси и Подмосковье (Ладейщикова, 1974; Писаренко и др., 1992; Раптунович, Якимов, 1996; Фомин и др., 2013; Мельник, Мерзленко, 2014; Шишкина, Колганихина, 2016);

– некоторые климатипы из соседних или относительно близких юго-западных и юго-восточных регионов (Рязанская, Брянская, Орловская, Курская области). Аналогичные данные получены в разных местах испытания географических культур (Писаренко и др., 1992), хотя на отдельных объектах Подмосковья рязанский и орловский климатипы показали себя как неперспективные по продуктивности (Мерзленко и др., 2017);



**Рис. 5.** Успешность климативов сосны по фитопатологическим показателям в географических культурах Авсюнинского участкового лесничества. Столбец черного цвета – Московская обл. К – контроль.

– юго-западные климативы из Львовской, Волынской и Сумской областей Украины. Эти климативы также были признаны успешными в ряде работ, в том числе проведенных в условиях Северо-Восточного Подмосковья (Писаренко и др., 1992; Мельник, Мерзленко, 2014);

– из восточных климативов – сосны из Удмуртии, Марий Эл и Башкортостана, а также Омской области, Саха (Якутии) и Хабаровского края, которые характеризуются удовлетворительным состоянием, несмотря на их происхождение из регионов, весьма удаленных от объекта исследования. Высокие лесоводственные показатели у климатива из Удмуртии уже отмечались ранее в Подмосковье (Мерзленко и др., 2017). Однако многие восточные и юго-восточные климативы, удаленные от места испытания, часто поражаются корневой губкой и в целом признаются неперспективными (Ладейщикова, 1974; Писаренко и др., 1992; Раптунович, Якимов, 1996; Фомин и др., 2013; Мельник, Мерзленко, 2014; Шишкина, Колганихина, 2016).

Ранее по результатам оценки сохранности и продуктивности культур Авсюнинского участкового лесничества многие из признанных успешными климативов показали высокую перспективность или были близки по своей устойчивости к местному климативу (Мельник, 2020).

Как схожие, так и противоречивые результаты по оценке успешности климативов на разных

объектах с географическими культурами представляют интерес для их дальнейшего изучения и анализа. В целом очаги на исследованном объекте начали действовать относительно недавно (примерно с 2004–2011 гг.), поэтому окончательную оценку успешности климативов можно будет дать в период достижения культурами возраста спелости. Именно в этом возрасте наблюдается заметное поражение древостоев корневой губкой на примыкающих участках со схожими лесорастительными условиями.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования географических культур сосны III класса возраста, расположенных на территории Авсюнинского участкового лесничества, их санитарное состояние оценивается как ослабленное. Доля текущего отпада превышена по сравнению с нормальными значениями для древостоев этого возраста и Ia класса бонитета, что свидетельствует о протекании в культурах патологического процесса. В ходе работ выявлен комплекс из 12 видов грибов, развивающихся на сосне. Гибель деревьев вызвана, главным образом, поражением их корневой губкой.

Установлены различия в санитарном и фитопатологическом состоянии разных климативов. Неудовлетворительным состоянием характери-

зуются культуры происхождением из Костромской, Самарской и Новосибирской областей России и Тернопольской области Украины. Самыми успешными признаны климатипы из Литвы, Рязанской, Смоленской, Брянской областей и Удмуртии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азовская Н. О., Ярмолович В. А., Баранов О. Ю. *Sphaeropsis sapinea* как основной возбудитель усыхания побегов *Pinus sylvestris* L. в Беларуси // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: Материалы IX Междунар. конф., Минск, 19–24 окт. 2015 г. Минск: БГТУ, 2015. С. 17–20.
- Бондарцев А. С. Трутовые грибы Европейской части СССР и Кавказа. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 1106 с.
- Варенцова Е. Ю., Николаева М. А. Фитопатологическое состояние сосны и ели в географических культурах, заложенных в Ленинградской области // X чтения памяти О. А. Катаева: Материалы Междунар. конф., Санкт-Петербург, 22–25 окт. 2018 г. СПб.: СПбГЛТУ им. С. М. Кирова, 2018. Т. 2. С. 13–14.
- Ведерников Н. М., Яковлев В. Г. Защита хвойных сеянцев от болезней. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 89 с.
- Воронцов А. И., Мозолевская Е. Г., Соколова Э. С. Технология защиты леса. М.: Экология, 1991. 304 с.
- Гродницкая И. Д., Кузнецова Г. В. Заболевания *Pinus sylvestris* L. и *Pinus sibirica* Du Roi в географических культурах и лесных питомниках Красноярского края и Хакасии // Хвойные бореал. зоны. 2012. Т. 27. № 3–4. С. 55–60.
- Жуков А. М., Гниненко Ю. И., Жуков П. Д. Опасные малоизученные болезни хвойных пород в лесах России. Изд. 2-е, испр. и доп. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. 128 с.
- Крутов В. И., Минкевич И. И. Грибные болезни древесных пород. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2002. 195 с.
- Крюденер А. А. Основы классификации типов насаждений. Пб.: Тип. Гл. упр. уделов, 1917. 318 с.
- Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р. Селекция сосны обыкновенной по устойчивости к грибным патогенам в географических культурах // Хвойные бореал. зоны, 2009. Т. 26. № 1. С. 76–81.
- Ладейщикова Е. И. Устойчивость хвойных пород и перспективы селекции сосны // Корневая губка. Поиск эффективных мер защиты хвойных насаждений от болезни. Харьков: Прапор, 1974. С. 15–22.
- Мельник П. Г. Результат выращивания белорусских климатипов сосны в условиях Восточного Подмосквья // Лесн. хоз-во: Материалы докл. 84 науч.-техн. конф. с междунар. участ., посв. 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки, Минск, 03–14 февраля 2020 г. Минск: БГТУ, 2020. С. 115–116.
- Мельник П. Г., Мерзленко М. Д. Результат выращивания климатипов сосны в географических культурах Северо-Восточного Подмосквья // Лесотех. журн. 2014. № 4. С. 36–42.
- Мерзленко М. Д., Мельник П. Г. Итог тридцати вегетаций в географических культурах ели Сергиево-Посадского опытного лесхоза // Науч. тр. МГУЛ. Вып. 274. М.: МГУЛ, 1995. С. 64–77.
- Мерзленко М. Д., Глазунов Ю. Б., Мельник П. Г. Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2017. № 3. С. 176–182.
- Методы мониторинга вредителей и болезней леса: Справочник (Болезни и вредители в лесах России. Т. III.) / Под общ. ред. В. К. Тузова. М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
- Мозолевская Е. Г., Катаев О. А., Соколова Э. С. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 152 с.
- Наквасина Е. Н., Бедрицкая Т. В., Гвоздихина О. А. Селекционная оценка климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области // ИВУЗ. Лесн. журн. 2001. № 3. С. 27–35.
- Негруцкий С. Ф. Корневая губка. М.: Агропромиздат, 1973. 199 с.
- Огиевский В. Д. Избранные труды. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 356 с.
- Павлов И. Н., Корхонен К., Губарев П. В., Черепнин В. Л., Барабанова О. А., Миронов А. Г., Агеев А. А. Закономерности образования очагов *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. str. в географических культурах сосны обыкновенной (Минусинская котловина) // Хвойные бореал. зоны, 2008. Т. 25. № 1–2. С. 28–36.
- Паспорт географических культур сосны обыкновенной Авсюнинского участкового лесничества Орехово-Зуевского лесничества Московской области. Красногорск: Комитет лесн. хоз-ва Моск. обл., 2018. 2 с.
- Пашенова Н. В., Полякова Г. Г., Афанасова Е. Н. Изучение грибов синевы древесины в хвойных лесах Центральной Сибири // Хвойные бореал. зоны. 2009. Т. 26. № 1. С. 22–27.
- Перечень лесорастительных зон Российской Федерации и Перечень лесных районов Российской Федерации. Утв. Приказом Минприроды России от 18.08.2014 № 367 (ред. от 02.08.2023). М.: Минприроды РФ, 2014.
- Писаренко А. И., Редько Г. И., Мерзленко М. Д. Искусственные леса. М.: ВНИИЦлесресурс, 1992. Ч. 2. 240 с.
- Правила санитарной безопасности в лесах. Утв. Пост. Правительства РФ от 09.12.2020 г. № 2047. М.: Правительство РФ, 2020.
- Раптунович Е. С., Якимов Н. И. Устойчивость географических культур сосны обыкновенной к корневой губке // Тр. БГТУ. Сер. 1. Лесн. хоз-во. 1996. № 4. С. 32–37.
- Синадский Ю. В. Сосна. Ее вредители и болезни. М.: Наука, 1983. 344 с.
- Соколова Э. С., Галасьева Т. В. Инфекционные болезни древесных растений: Учеб. пособ. М.: МГУЛ, 2008. 87 с.
- Стороженко В. Г., Крутов В. И., Руоколайнен А. В., Коткова В. М., Бондарцева М. А. Атлас-определитель дореворазрушающих грибов лесов Русской равнины. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 195 с.
- Тимофеев В. П. Географические культуры как метод улучшения видового и формового состава лесов в Московской области // Разв. лесн. хоз-ва. М.: Лесн. пром-сть, 1978. С. 33–36.
- Фомин Е. А., Сидор А. И., Верас С. Н. Динамика сохранности климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // Тр. БГТУ. Лесн. хоз-во. 2013. № 1. С. 191–195.

- Шишкина А. А., Колганихина Г. Б. Фитопатологическая оценка успешности географических культур сосны обыкновенной в Серебряноборском опытном лесничестве // Тр. СПб НИИЛХ. 2016. № 3. С. 22–38.
- Barzdajn W., Kowalkowski W., Chmura D. J. Variation in growth and survival among European provenances of *Pinus sylvestris* in a 30-year-old experiment // Dendrobiology. 2016. V. 75. P. 67–77.
- Brodde L., Adamson K., Camarero J. J., Castaño C., Drenkhan R., Lehtijärvi A., Luchi N., Migliorini D., Sánchez-Miranda Moreno A., Stenlid J., Özdağ Ş., Oliva J. Diplodia tip blight on its way to the north: Drivers of disease emergence in northern Europe // Front. Plant Sci. 2019. V. 9. Article 1818. 12 p.
- Davydenko K., Vasaitis R., Menkis A. Fungi associated with *Ips acuminatus* (Coleoptera: Curculionidae) in Ukraine with a special emphasis on pathogenicity of ophiostomatoid species // Europ. J. Entomol. 2017. V. 114. Iss. 1. P. 77–85.
- Dietrichson J. Provenance and resistance to *Scleroderma lagerbergii* Gremmen. (*Crumenula abietina* Lagerb.). The international Scots pine provenance experiment of 1938 at Matrand // Meld. Norske Skogsorsøksvesen. 1968. V. 25. P. 395–410.
- Hemingway R. W., McGraw G. W., Barras S. J. Polyphenols in *Ceratocystis minor* infected *Pinus taeda*: fungal metabolites, phloem and xylem phenols // Agr. Food Chem. 1977. V. 25. Iss. 4. P. 717–723.
- Jansons A., Baumanis I. Growth dynamics of Scots pine geographical provenances in Latvia // Balt. For. 2005. V. 11. N. 2 (21). P. 29–37.
- Karlman M. Damage to *Pinus contorta* in northern Sweden with special emphasis on pathogens // Stud. For. Suec. 1986. N. 176. 42 p.
- Pastirčáková K., Adamčíková K., Pastirčák M., Zach P., Galko J., Kováč M., Laco J. Two blue-stain fungi colonizing Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees infested by bark beetles in Slovakia, Central Europe // Biologia. 2018. V. 73. Iss. 11. P. 1053–1066.
- Sinclair W. A., Lyon H. H. Diseases of trees and shrubs. Comstock Publ. Ass., a div. Cornell Univ. Press, 2005. 660 p.
- Szeligowski H., Buraczyk W., Konecka A., Studnicki M., Drozdowski S. A multi-trait assessment of selected provenances of Scots pine following 50 years of growth on a provenance experiment in Central Poland, in the light of climate change // Europ. J. For. Res. 2023. V. 142. Iss. 1–2. P. 509–520.
- Zhelev P., Lust N. Provenance study of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Belgium. I. Evaluation of phenotypical traits // Silva Gandavensis. 1999. V. 64. P. 24–36.

## CONDITION AND FUNGAL DISEASES OF SCOTS PINE PROVENANCE TRIALS

A. A. Shishkina, N. N. Karpun

Saint-Petersburg State Forest Engineering University  
Institutskiy pereulok, 5, Saint-Petersburg, 194021 Russian Federation

E-mail: frbg@mail.ru, nkolem@mail.ru

The experience of creating and studying Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances shows that there is a connection between the success of growing trees and their geographical origin. Some of them are capable of surpassing local ones in terms of productivity, yield and other features. To select successful climatypes, it is important consider their sustainability to various unfavorable environmental factors, including fungal diseases. The most dangerous pine disease is annosum root rot (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). The studies were carried out in Scots pine provenance trials of the Orekhovo-Zuevsky forestry district (east part of Moscow region) in the period from 2016 to 2023. The current health and phytopathological state of 38 climatypes, as well as adjacent pine stands of local origin, have been assessed. A complex of 12 species of fungi associated with pine have been identified. *H. annosum* causes the greatest damage. Numerous pockets of dead trees associated with the development of this pathogen have been identified in the areas. The proportion of dieback trees in different origin pine stands is not the same: 22 climatypes are superior to forest stands of local origin. Most climatypes from the northwestern and western regions relative to the control (Lithuania, Estonia, Brest region of Belarus), as well as some from neighboring regions (Smolensk, Bryansk, Ryazan regions) are more successful. Almost all unfavorable climatypes originate from regions located east of the test plot (Kostroma, Samara, Sverdlovsk, Novosibirsk regions). Pine stands originated from Udmurtia, Bashkortostan, Omsk region and Yakutia are characterized by a successful state, despite their origin from the regions, very remote from the trial location.

**Keywords:** climatypes, success of climatypes, forest diseases, annosum root rot, *Heterobasidion annosum*, root rot disease centre.

**How to cite:** Shishkina A. A., Karpun N. N. Condition and fungal diseases of Scots pine provenance trials // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 112–122 (in Russian with English abstract and references).

## CONTENTS

### FOR DISCUSSION

- S. P. Efremov, T. T. Efremova, A. V. Pimenov, T. S. Sedel'nikova*  
Structure of the Annual Ring Pool in Communities of Swamp and Dry Pine Forests Between Ob' and Tom' Rivers.  
Communication I: Methodological Substantiation and Forest Growing Conditions ..... 3
- S. P. Efremov, T. T. Efremova, A. V. Pimenov, T. S. Sedel'nikova*  
Structure of the Annual Ring Pool in Communities of Swamp and Dry Pine Forests Between Ob' and Tom' Rivers.  
Communication II: Experimental and Analytical Aspects ..... 13

### RESEARCH ARTICLES

- A. A. Onuchin, V. E. Aryasov, A. M. Schemberg*  
Specificity of Increment of Young Pine Stands of Different Density in Krasnoyarsk Forest-Steppe  
in the Context of Efficiency of Assimilation Apparatus ..... 28
- V. E. Benkova, A. V. Benkova, D. A. Mashukov, A. S. Prokushkin, A. V. Shashkin, E. A. Shashkin, A. V. Kachaev*  
Radial Growth of Trees in Anthropogenically Modified Larch Forest of the Cryolithozone ..... 35
- V. A. Ivanov, G. A. Ivanova, E. O. Baksheeva, D. V. Shebeko*  
Emissions from Fires in the Stands of Central Siberian Subtaiga-Forest-Steppe Region ..... 47
- V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov*  
Ecological and Cenotic Features of the Formation of Forest Ecosystems in the Middle Reaches  
of the Kotuy River in the Context of Global Climate Change ..... 57
- A. S. Shishikin, R. T. Murzakmatov, I. I. Bryukhanov*  
Restoration of Drying Mountain Siberian Stone Pine Forests in Southern Siberia ..... 70
- Yu. N. Baranchikov, N. S. Babichev, N. Yu. Speranskaya, D. A. Demidko, M. G. Volkovitch,  
L. S. Snigireva, E. N. Akulov, N. I. Kirichenko*  
Emerald Ash Borer *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) in Altai (Southern Siberia) ..... 79
- O. L. Tsandekova*  
Features of Litter Formation in Forest Phytocoenoses with Ash Maple ..... 89
- A. P. Kovalev, A. Yu. Alekseenko, T. G. Kachanova*  
Silvicultural Principles of Choosing Methods of Logging Technologies in the Far Eastern Forests ..... 96
- A. F. Osipov*  
Wood Litter Input to the Soil Surface of Middle Taiga Pine Forests in the European North-East of Russia ..... 103
- Shishkina A. A., Karpun N. N.*  
Condition and Fungal Diseases of Scots Pine Provenance Trials ..... 112

Индекс по объединенному каталогу «Пресса России» и подписному каталогу «Урал-Пресс» – 41444.

*Сибирский лесной журнал* Номер 5 2024 Сентябрь–Октябрь

## СОДЕРЖАНИЕ

### В ПОРЯДКЕ ДИСКУССИИ

- С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова*  
Структура пула годичных колец в социумах болотных и суходольных сосняков междуречья Оби и Томи:  
Сообщение I. Методологическое обоснование и лесорастительные условия ..... 3
- С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова*  
Структура пула годичных колец в социумах болотных и суходольных сосняков междуречья Оби и Томи:  
Сообщение II. Экспериментально-аналитические аспекты ..... 13

### ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

- А. А. Онучин, В. Е. Арясов, А. М. Шемберг*  
Специфика прироста разногустотных сосновых молодняков Красноярской лесостепи  
в контексте эффективности работы ассимиляционного аппарата ..... 28
- В. Е. Бенькова, А. В. Бенькова, Д. А. Машуков, А. С. Прокушкин, А. В. Шашкин,  
Е. А. Шашкин, А. В. Качаев*  
Радиальный рост деревьев в антропогенно измененном лиственничнике криолитозоны ..... 35
- В. А. Иванов, Г. А. Иванова, Е. О. Бакшеева, Д. В. Шебеко*  
Эмиссии при пожарах в насаждениях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района ..... 47
- В. Л. Кошкарлова, А. Д. Кошкаров*  
Эколого-ценологические особенности формирования лесных экосистем в среднем течении реки Котуй  
в контексте глобальных изменений климата ..... 57
- А. С. Шишикин, Р. Т. Мурзакуматов, И. И. Брюханов*  
Восстановление усыхающих горных кедровников юга Сибири ..... 70
- Ю. Н. Баранчиков, Н. С. Бабичев, Н. Ю. Сперанская, Д. А. Демидко, М. Г. Волкович,  
Л. С. Снигирева, Е. Н. Акулов, Н. И. Кириченко*  
Ясеновая изумрудная узкотелая златка (*Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae))  
на Алтае (Южная Сибирь) ..... 79
- О. Л. Цандекова*  
Особенности формирования подстилки лесных фитоценозов с участием клена ясенелистного ..... 89
- А. П. Ковалев, А. Ю. Алексеенко, Т. Г. Качанова*  
Лесоводственные принципы выбора способов технологий рубок в лесах Дальнего Востока ..... 96
- А. Ф. Осипов*  
Поступление древесного опада на поверхность почвы среднетаежных сосняков  
на Европейском Северо-Востоке России ..... 103
- А. А. Шишкина, Н. Н. Карпун*  
Состояние географических культур сосны обыкновенной при грибных болезнях ..... 112