

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

ISSN 2311-1410

# Сибирский лесной журнал

Номер 6  
Ноябрь–Декабрь 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 6 November–December 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. Chimitdorziev (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. Kirdyanov (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 Schmullius (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

№ 6 2024 Ноябрь – Декабрь

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. Барталев (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. Доржсүрэн (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. Шмulliус (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 международные реферативные базы данных: AGRIS, CABI Forest Science Database, CrossRef, DOAJ, ROAD, Ulrichsweb: Global Serials Directory, российскую систему научного цитирования: Научную электронную библиотеку eLibrary.ru, российский индекс научного цитирования (ядро РИНЦ/RSCI), Перечень периодических научных изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ. Полнотекстовые статьи размещаются на сайте журнала в сети: [sibirskii-lesnoy-jurnal.ru](http://sibirskii-lesnoy-jurnal.ru), [sibjforsci.com](http://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 20.11.2024. Выход в свет 30.12.2024. Бумага типографская. Формат 60 × 84 1/8

Усл. печ. л. 14.1. Уч.-изд. л. 12.2. Тираж 100 экз. Заказ № 286. 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](mailto:e.lyannaya@sb-ras.ru); <http://www.sibran.ru>



## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 630\*453+595.768.24(571.1/.5)

### ФЕРОМОН ИНВАЗИЙНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КОРОЕДА *Ips amitinus* (Eichhoff) В РОССИИ ПОКА НЕ НАЙДЕН

И. А. Керчев<sup>1</sup>, Н. И. Кириченко<sup>2, 3</sup>, Ю. Н. Баранчиков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634055, Томск, просп. Академический, 10/3

<sup>2</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>3</sup> Красноярский филиал Всероссийского центра карантина растений  
660020, Красноярск, ул. Желябова, 6/6

E-mail: ivankerchev@gmail.com, nkirichenko@yahoo.com, baranchikov\_yuri@yahoo.com

Поступила в редакцию 10.10.2024 г.

Союзный короед (*Ips amitinus* (Eichhoff)) – европейский вид, сравнительно недавно проникший в Сибирь, где образует очаги массового размножения в насаждениях нового для него растения-хозяина – сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour). В одном из очагов в кедровниках Томской области в июне–августе 2024 г. были вывешены барьерные ловушки с диспенсерами, содержащими аналоги агрегационного феромона союзного короеда производства Российского центра карантина (ВНИИКР) и австрийской фирмы Witasek. В период активного лета короеда диспенсеры отечественного и австрийского производства не привлекли ни одной особи союзного короеда. Диспенсеры ВНИИКР отловили его специализированного энтомофага муравьежука *Thanasius femoralis* (Zetterstedt) и ряд нецелевых видов короедов и усачей. Видовой состав отловленных насекомых диспенсера австрийского производства был неотличим от такового контрольных ловушек. Подчеркивается необходимость дополнительных исследовательских работ по поиску и наработке феромонных смесей для мониторинга популяций союзного короеда в его вторичном ареале.

**Ключевые слова:** союзный короед, инвазия, защита кедровых лесов, феромонный мониторинг.

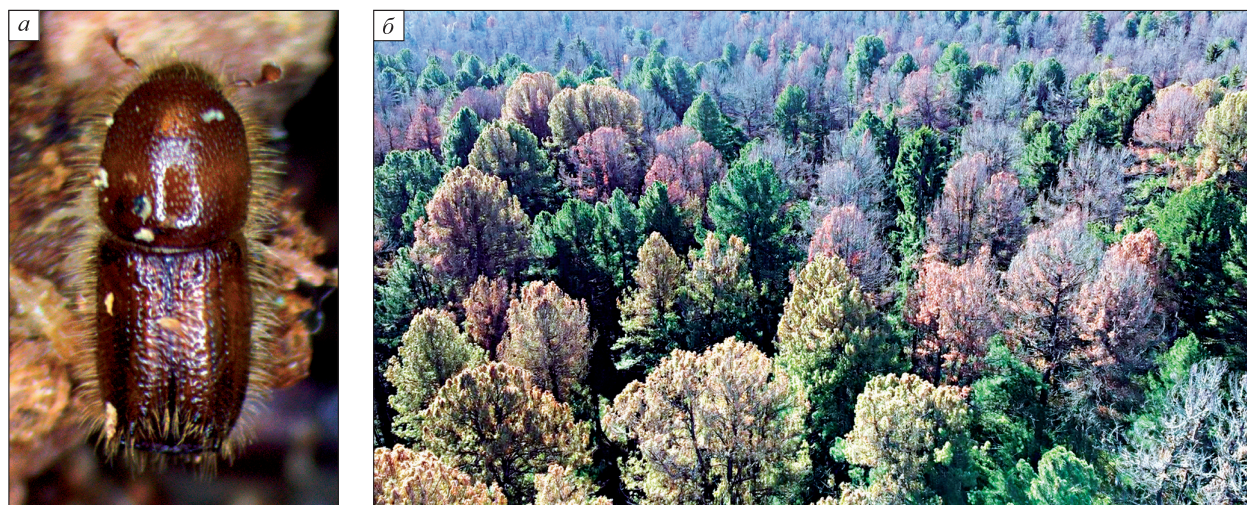
DOI: 10.15372/SJFS20240601

Инвазивные короеды (Curculionidae: Scolytinae) представляют серьезную угрозу функционированию природных экосистем и экономике лесного хозяйства, а также состоянию урбоэкосистем – ботанических садов, парков, скверов (Brockenhoff et al., 2006; Aukema et al., 2011). Распространение короедов чаще всего происходит при экспорте/импорте древесных материалов (обработанной и необработанной древесины), грузов в деревянной упаковке и живых древесных растений (Meissner et al., 2008; Meurisse et al., 2019).

Союзный короед (*Ips amitinus* (Eichhoff)) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) – ство-

ловой вредитель европейского происхождения, недавно проникший в темнохвойные экосистемы юго-восточной части Западно-Сибирской равнины и ставший новым фактором массовой гибели новой для него кормовой породы – сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) (Керчев и др., 2019; Kerchev et al., 2019) (рис. 1, а).

Впервые в Западной Сибири очаг этого короеда был выявлен в 2019 г. в Томской области на площади 238.5 га в Томском лесничестве в границах Лучаново-Ипатовского припоселкового кедровника (Керчев и др., 2021; Kerchev et al., 2022). Однако признаки необычного повреждения кедра, а именно вершинного усыхания (как



**Рис. 1.** Имаго союзного короеда (длина тела 3.9 мм) (а) и типичная картина очага его массового размножения (б) в Протопоповском припоселковом кедровнике (Томское лесничество, Томская обл., 2023 г.) (фото И. А. Керчева).

впоследствии было выяснено, характерного для союзного короеда на кедре), были замечены в Кемеровской области в Иткаринском кедровнике Яшкинского лесничества еще в 2014 г. (Керчев и др., 2019; Kerchev et al., 2019) (рис. 1, б).

В настоящее время зона активности союзного короеда в Западной Сибири охватывает северную часть Кемеровской области и сопредельную территорию юга Томской области, а также северо-восточный районы Новосибирской области. Предпосылкой для дальнейшего распространения в Сибири союзного короеда является обширный ареал кедр, занимающий в границах только Сибирского федерального округа 28.9 млн га, а в целом в России – более 40 млн га (Керчев и др., 2021; Kerchev et al., 2022).

Мониторинг динамики современного ареала опасных чужеродных вредителей леса – важный элемент успешной стратегии борьбы с ними (Brockerhoff et al., 2010). Эффективным и относительно недорогим методом раннего выявления чужеродных видов является феромонный мониторинг – отлов насекомых с помощью феромонных ловушек (Poland, Rassati, 2019). Массовое заселение короедами рода *Ips* выбранного дерева происходит под действием агрегационных феромонов, вырабатываемых самцами-первопоселенцами, в сочетании с летучими веществами дерева-хозяина. Для целей мониторинга популяций короедов чаще всего используют искусственные аналоги именно агрегационных феромонов.

В 2020 г. была предпринята первая попытка использования феромонных ловушек для массового отлова союзного короеда. Для этого был

использован феромон короеда-типографа (*Ips typographus* (L.)), симпатрически обитающего с союзным короедом в Европе. В совокупности в лесах Томской и Кемеровской областей было размещено 2120 феромонных ловушек. Ожидается в уловах абсолютным доминантом был короед-типограф (в среднем 147 шт./ловушку против 0.7 шт. союзного короеда). При этом около 4 % всех уловов составил важнейший облигатный хищник короедов – муравьежук *Thanasimus femoralis* (Zetterstedt). Таким образом, в связи с инвазией и разрушительной деятельностью союзного короеда остро обозначилась необходимость получения его синтетического феромона для ведения адекватного мониторинга (Кривец и др., 2023).

На запрос производителей оперативно откликнулся ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (Быково, Московской обл.): был синтезирован отечественный аналог феромона союзного короеда, который уже с 2023 г. стали активно применять для мониторинга в Новосибирской области (В Новосибирской области..., 2023). Диспенсеры с синтетическим феромоном доступны для приобретения в частном порядке в интернет-магазине организации. На родине союзного короеда как минимум несколько европейских фирм уже давно производят свои формы аттрактанта (синтетического феромона) для данного вида (The Pherobase..., 2024; Witasek, 2024; и др.).

Маркируя свой продукт как целевой для отлова союзного короеда, ни один из производителей не раскрывает состав своих смесей. Мы провели независимое сравнение эффективности





**Рис. 2.** Диспенсер с феромоном производства ВНИИКР (а) и пластиковая ловушка барьерного типа с диспенсером в центре ловушки (б) (фото И. А. Керчева).

отечественного и зарубежного синтетических феромонов в очаге союзного короеда в Томской области.

Исследования в период с 12 июня по 7 августа 2024 г. проводили на территории Заварзинской лесной дачи в папоротниково-разнотравном темнохвойно-кедровом насаждении (5КЗП2Е + С). Средний возраст преобладающей породы – 120 лет. Для испытания аналогов агрегационных феромонов применяли прозрачные пластиковые ловушки барьерного типа, широко используемые для отлова короеда-типографа, близкородственного союзному короеду (рис. 2).

В нижней части ловушки к барьеру скрепкой крепили диспенсер, содержащий синтетический агрегационный феромон короеда (рис. 2, а). Ловушки вывешивали на деревьях других (преимущественно лиственных) пород, чтобы исключить привлечение короедов поврежденным (ослабленным) деревом и не спровоцировать нападение короедов на здоровое дерево (рис. 2, б).

Всего на территории Заварзинской лесной дачи было установлено три типа ловушек в 5 повторностях: 5 ловушек с диспенсером, содержащим синтетический феромон иностранного

производства (Witasek, Фельдкирхен, Австрия), 5 ловушек с таковым отечественного производства (ФБУ ВНИИКР, Быково, Московская область) и 5 контрольных ловушек без диспенсеров. Ловушки размещали на расстоянии не менее 50 м друг от друга в последовательности ABCABCABC... (рис. 3).

Между ловушками с диспенсерами разных производителей Witasek и ВНИИКР размещали контрольный вариант.

Австрийский производитель синтетического феромона указывает сохранение его аттрактивности в течение 8–9 нед с момента вскрытия алюминиевой упаковки. Диспенсер, предлагаемый отечественным производителем, гарантировано сохранял привлекательность в течение 30 сут.

Проверку уловов в ловушках проводили минимум раз в неделю на протяжении первых 3 нед, далее – раз в 2 нед. Каждая проверка сопровождалась ротацией ловушек, т. е. смещением на место следующей и переноса последней на место первой. При посещении лесного массива для проверки феромонных ловушек попутно проводили наблюдения за фенологией короеда на буреломных ветвях кедра в данном насаждении.



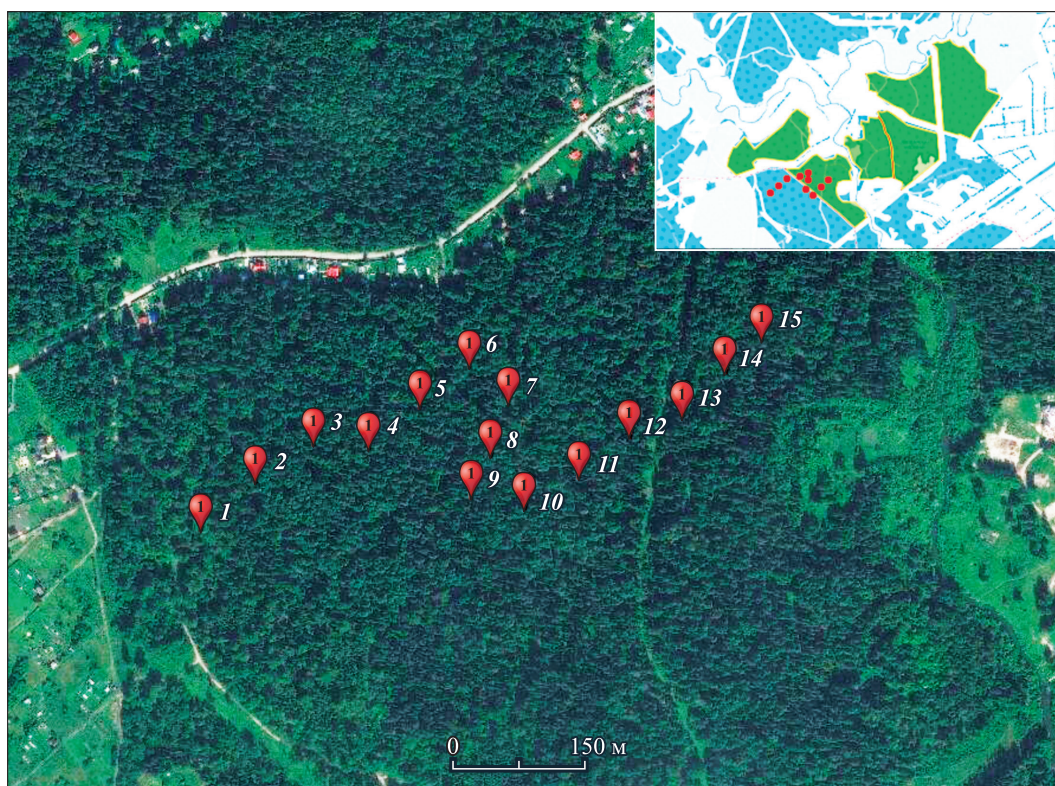


Рис. 3. Схема расположения феромонных ловушек для тестирования диспенсеров в Заварзинской лесной даче.

В 2024 г. сроки массового лета короеда со II–III декад мая сдвинулись на I декаду июня, что, вероятно, было обусловлено затяжной весной. На территории Заварзинской лесной дачи во время вывешивания ловушек на буреломных ветвях кедра отмечены единичные втачивания короеда с 1–2 жуками (втачивающийся самец или самец с одной самкой). Стоит отметить, что коэффициент полигамности у данного вида варьирует в пределах 3–5 (Старк, 1952). Таким образом, в течении II декады июня массовый лет еще продолжался. Помимо буреломных ветвей в текущем году союзный короед заселял и внешне здоровые кедры.

Численность короеда в насаждении можно было охарактеризовать как очаговую. Несмотря на это, ни одного экземпляра союзного короеда не было отловлено ни на один из испытанных вариантов синтетических феромонов. Вместе с тем уловы нецелевых видов по вариантам синтетических феромонов качественно отличались. На австрийский феромон Witasek не отловлен ни один представитель короедов Scolytinae. На отечественный феромон ФГБУ ВНИИКР за период экспонирования ловушек были отловлены в единичных экземплярах шестизубый короед (*Ips sexdentatus* (Börner)) (2 экз.), короед-ти-

пограф (4), корнежил *Hylastes brunneus* Er. (3), лесовик таежный (*Dryocoetes hectographus* Reitter.) (1). Среди сопутствующих короедам энтомофауны в ловушках присутствовали усачи: по 1 экз. усача блестящегрудого (*Tetropium castaneum* (L.)), усача матовогрудого (*Tetropium fuscum* (Fabr.)), ребристого рагия (*Rhagium inquisitor* (L.)), хищники – муравьежук (6 экз.) и представитель сапротрофной энтомофауны – *Epuraea* sp. (4 экз.). Из нецелевых отловленных насекомых во всех вариантах ловушек отмечены щелкуны (Coleoptera: Elateridae): щелкун настоящий (*Ampedus nigrinus* (Herbst)), красноногий щелкун (*Melanotus villosus* (Fourcroy)), щелкун *Liotrichus affinis* (Paykull). Нецелевые виды насекомых распределились следующим образом: Witasek – 10 экз., ВНИИКР – 11 экз., контрольный вариант – 8 экз.

Эксперимент по испытанию отечественного синтетического феромона был проведен в 2024 г. также в сосняках Ленинградской области и Карелии коллегами из Санкт-Петербургского лесотехнического университета (Мандельштам и др., 2024). Несмотря на то, что союзный короед был отмечен ранее в Лисинском участковом лесничестве Ленинградской области, в ловушки с синтетическим феромоном ФГБУ ВНИИКР

не отловлено ни одной особи. Такой же результат получен и в Карелии. При этом были массово отловлены естественные враги короеда – муравьежуки *Th. formicarius* (L.) и *Th. femoralis* Zetterstedt. Из короедов в ловушках на союзного короеда единично были встречены короед-типограф, древесинник полосатый (*Trypodendron lineatum* (Oliv.)) и корнежил еловый малый (*Hylastes opacus* Erich.). Авторами исследования сделан вывод о неэффективности отечественного синтетического феромона не только по причине его непривлекательности для союзного короеда, но и из-за отлова в основном представителей полезной энтомофауны (Мандельштам и др., 2024).

В чем же причина указанных отрицательных результатов использования протестированных синтетических феромонов? Казалось бы, в горных лесах Центральной Европы союзный короед питается не на елях (*Picea A. Dietr.*), как в равнинных популяциях, а на пятихвойных соснах: сосне кедровой европейской (*Pinus cembra* L.) и на с. румелийской (*P. peuce* Griseb.) (Økland et al., 2019). При этом синтетические аналоги агрегационных феромонов «еловых» и «сосновых» популяций союзного короеда оказались одинаково привлекательны для жуков обеих популяций (Zuber et al., 1993).

В основе вновь синтезированных короедами компонентов феромонной смеси как правило лежат вторичные соединения кормового растения (Blomquist et al., 2010). Есть основания полагать, что химизм сосны кедровой европейской и с. сибирской в известной мере сходен, поскольку генетически эти два вида кедровых сосен близки (Polítov, Krutovsky, 2004).

Производители феромонных смесей вероятнее всего за основу для их наработки взяли результаты расшифровки феромона центрально-европейских популяций союзного короеда, выделенного из кишечника самцов, питавшихся на ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) и сосне кедровой европейской (Francke et al., 1980; Zuber et al., 1993). Существует, однако, множество примеров тому, что во время инвазий зачастую имеет место эффект «бутылочного горлышка», когда генофонд инвазийного «десанта» представлен лишь небольшой и может быть даже уникальной частью генотипа популяции-донора (Kononov et al., 2016). При этом биохимические исследования подтверждают предположение о том, что даже незначительные изменения в существующих метаболических путях достаточны для создания огромного разнообразия набора

компонентов феромона (Symonds, Elgar, 2008). Например, различия в составе феромонов соснового короеда (*Ips pini* (Say)) приписываются всего одному генетическому локусу (Domingue et al., 2006), и изменение одного фермента может изменить состав феромонов или, по крайней мере, потенциал их синтеза (Domingue, Teale, 2008).

Возможно, в основе различий феромонных смесей европейской и сибирской популяций союзного короеда лежат незначительные особенности попавшего в Сибирь гаплотипа короеда. Возможно также, что на эти различия повлияли особенности состава вторичных соединений нового кормового растения союзного короеда в Западной Сибири – кедра. Например, различные соотношения альфа-пинена и дельта-3-карена во флоэме деревьев двух популяций сосны Банкса (*P. banksiana* Lamb.) привели к различиям в соотношении основных компонентов феромона горного соснового лубоеда (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins) (Taft et al., 2015).

В заключение отметим, что поиск агрегационного феромона короеда – достаточно трудоемкое мероприятие, требующее кроме знания биологии вредителя и современного оборудования химических лабораторий еще и времени для тестирования аналогов феромонов в полевых условиях. В качестве примера сошлемся на цикл работ лаборатории проф. Э. Хеденстрёма (Mid Sweden University, Sundsvall, Sweden) по выделению феромонов короедов рода полиграф (*Polygraphus* Erichson): п. пушистый (*P. poligraphus* (L.)), п. большой еловый (*P. punctifrons* Thomson), п. еловый малый (*P. subopacus* Thomson) и п. уссурийский (*P. proximus* Blandford) (Viklund, 2024). Летучие компоненты буровой муки фиксировали твердофазной микроэкстракцией с последующим анализом методами газовой хроматографии и масс-спектрометрии; идентифицированные вещества тестировали методами электроантеннографии (ЭАГ). Выделенные в результате этого комплексного подхода компоненты феромонной смеси тестировали в природе в разных концентрациях в феромонных ловушках (Viklund, 2024). Обычно работа с одним видом занимала один сезон. Однако тестирование компонентов летучей смеси уссурийского полиграфа методом ЭАГ в Швеции было невозможно из-за карантинного статуса этого вида. В результате полевое тестирование в Сибири заняло три сезона (Viklund et al., 2022).

Таким образом можно заключить, что имеющиеся на данный момент в доступности аналоги



агрегационных феромонов союзного кородея не обладают необходимой привлекательностью для отлова «кедровых» популяций целевого вида в Западной Сибири, даже в очагах его массового размножения. При этом они массово привлекают полезную энтомофауну, отлавливая наиболее эффективных регуляторов численности кородея. Результаты тестирования синтетических феромонов во вторичном ареале союзного кородея в России убеждают в необходимости разработки феромонных смесей, обладающих должной привлекательностью для жуков союзного кородея с целью ведения эффективного мониторинга этого опасного чужеродного вида.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института леса им. В. Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН (FWES-2024-0029) (лабораторная обработка материала). Полевые исследования частично поддержаны средствами гранта РНФ № 22-16-00075 (приобретение австрийского феромона и его тестирование в условиях Западной Сибири).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- В Новосибирской области ведутся наблюдения за стволовыми вредителями с применением феромонных ловушек. Новосибирск: Центр защиты леса Новосибирской области, 05 мая 2023 г. <https://novosibirsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/v-novosibirskoy-oblasti-vedutsya-nablyudeniya-za-stvolovymi-vreditelyami-s-primeneniyem-feromonnykh-l/>
- Керчев И. А., Кривец С. А., Бисирова Э. М., Смирнов Н. А. Распространение союзного кородея *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) в Западной Сибири // Рос. журн. биол. инваз. 2021. № 4. С. 77–84.
- Керчев И. А., Мандельштам М. Ю., Кривец С. А., Илинский Ю. Ю. Союзный короед *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) – новый чужеродный вид в Западной Сибири // Энтомол. обозр. 2019. Т. 98. № 3. С. 592–599.
- Кривец С. А., Керчев И. А., Бисирова Э. М., Смирнов Н. А., Пац Е. Н. Союзный короед *Ips amitinus* (Eichh.) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) – новый вызов для лесозащиты в Сибири // Сиб. лесн. журн. 2023. № 1. С. 43–57.
- Мандельштам М. Ю., Седихин Н. В., Поповичев Б. Г., Селиховкин А. В. Опыт использования феромонных ловушек для союзного кородея *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) в Ленинградской области и Карелии // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах. XIII чтения памяти О. А. Катаева: Материалы Всерос. конф. с междунар. участ., Санкт-Петербург, 28 окт.– 01 нояб. 2024 г. / под ред. А. В. Селиховкина, Ю. Н. Баранчикова, Н. Н. Карпун, М. Ю. Мандельштама и В. И. Пономарева. СПб: СПбГЛТУ, 2024. С. 68–69.
- Старк В. Н. Короеды // Фауна СССР. Жесткокрылые. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. Т. 31. 462 с.
- Aukema J. E., Leung B., Kovacs K., Chivers C., Britton K. O., Englin J., Frankel S. J., Haight R. G., Holmes T. P., Liebhold A. M., McCullough D. G., Holle B. V. Economic impacts of non-native forest insects in the continental United States // PLoS One. 2011. V. 6. Iss. 9. Article e24587.
- Blomquist G. J., Figueroa-Teran R. A. W. M., Song M., Gorzalski A., Abbott N. L., Chang E., Tittiger C. Pheromone production in bark beetles // Insect Biochem. Mol. Biol. 2010. V. 40. Iss. 10. P. 699–712.
- Brockerhoff E. G., Jones D. C., Kimberley M. O., Suckling D. M., Donaldson T. Nationwide survey for invasive wood-boring and bark beetles (Coleoptera) using traps baited with pheromones and kairomones // For. Ecol. Manag. 2006. V. 228. Iss. 1–3. P. 234–240.
- Brockerhoff E. G., Liebhold A. M., Richardson B., Suckling D. M. Eradication of invasive forest insects: concepts, methods, costs and benefits // New Zeal. J. For. Sci. 2010. V. 40. Suppl. P. 117–135.
- Domingue M., Starmer W., Teale S. Genetic control of the enantiomeric composition of ipsdienol in the pine engraver, *Ips pini* // J. Chem. Ecol. 2006. V. 32. Iss. 5. P. 1005–1026.
- Domingue M., Teale S. The genetic architecture of pheromone production between populations distant from the hybrid zone of the pine engraver, *Ips pini* // Chemoecology. 2008. V. 17. Iss. 4. P. 255–262.
- Francke W., Sauerwein P., Vite J. P., Klimetzek D. The pheromone bouquet of *Ips amitinus* // Naturwissenschaften. 1980. V. 67. P. 147–148.
- Kerchey I. A., Krivets S. A., Bisirova E. M., Smirnov N. A. Distribution of the small spruce bark beetle *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) in Western Siberia // Rus. J. Biol. Invas. 2022. V. 13. N. 1. P. 58–63 (Original Rus. text © 2021, I. A. Kerchey, S. A. Krivets, E. M. Bisirova, N. A. Smirnov, publ. in Ros. zhurn. biol. invaz. 2021. N. 4. P. 77–84).
- Kerchey I. A., Mandelshtam M. Yu., Krivets S. A., Il'insky Yu. Yu. Small spruce bark beetle *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae): a new alien species in West Siberia // Entomol. Rev. 2019. V. 99. Iss. 5. P. 639–644 (Original Rus. text © I. A. Kerchey, M. Yu. Mandelshtam, S. A. Krivets, Yu. Yu. Il'insky, 2019, publ. in Entomol. obozr. 2019. V. 98. N. 3. P. 592–599).
- Kononov A., Ustyantsev K., Blinov A., Fet V., Baranchikov Yu. N. Genetic diversity of aboriginal and invasive populations of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) // Agr. For. Entomol. 2016. V. 18. Iss. 3. P. 294–301.
- Meissner H. E., Culliney T. W., Lemay A. V., Newton L. P., Bertone C. A. Wood packaging material as a pathway for the movement of exotic insect pests into and within the Greater Caribbean Region // Proc. Carib. Food Crops Soc. 44<sup>th</sup> Annual Meeting, 13–17 July 2008, Miami, Florida, USA. V. 44. N. 2. P. 621–627.
- Meurisse N., Rassati D., Hurley B. P., Brockerhoff E. G., Haack R. A. Common pathways by which non-native forest insects move internationally and domestically // J. Pest Sci. 2019. V. 92 (Suppl.). P. 13–27.
- Økland B., Flø D., Schroeder M., Zach P., Cocos D., Martikainen P., Siitonen J., Mandelshtam M. Y., Musolin D. L.,



- Neuvonen S., Vakula J., Nikolov C., Lindelow A., Voolma K. Range expansion of the small spruce bark beetle *Ips amitinus*: a newcomer in northern Europe // Agr. For. Entomol. 2019. V. 21. Iss. 3. P. 286–298.
- Poland T. M., Rassati D. Improved biosecurity surveillance of nonnative forest insects: a review of current methods // J. Pest Sci. 2019. V. 92. Iss. 1. P. 37–49.
- Politov D. V., Krutovsky K. V. Phylogenetics, genogeography and hybridization of five-needle pines in Russia and neighboring countries // Breeding and genetic resources of five-needle pines: growth, adaptability and pest resistance, Medford, OR, USA, 23–27 July 2001. IUFRO Working Party 2.02.15. Proc. RMRS-P-32 / R. A. Snieszko et al. (Eds.). Fort Collins, CO: USDA For. Serv., Rocky Mountain Res. St., 2004. P. 85–97.
- Symonds M. R. E., Elgar M. A. The evolution of pheromone diversity // Trends Ecol. Evol. 2008. V. 23. Iss. 4. P. 220–228.
- Taft S., Najar A., Erbilgin N. Pheromone production by an invasive bark beetle varies with monoterpene composition of its native host // J. Chem. Ecol. 2015. V. 41. Iss. 6. P. 540–549.
- The Pherobase. Semiochemicals of *Ips amitinus*, the small spruce bark beetle, 2024. <https://pherobase.com/database/species/species-Ips-amitinus.php>
- Viklund L. Aggregation pheromones in the four-eyed bark beetles *Polygraphus poligraphus*, *Polygraphus punctifrons*, *Polygraphus subopacus* and *Polygraphus proximus*: Doctoral thesis, comprehensive summary. Sundsvall: Mid Sweden Univ., 2024. 93 p.
- Viklund L., Baranchikov Y., Schroeder M., Efremenko A., Demidko D., Hedenstrom E. Identification of sex-specific compounds in the invasive four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* // Chemoecology. 2022. V. 32. Iss. 6. P. 183–195.
- Witasek. Amitinuswit-eight-toothed spruce bark beetle (*Ips amitinus*), 2024. <https://www.witasek.com/shop/en/pheromone-traps-attractants/pest-control-attractants/127/amitinuswit-eight-toothed-spruce-bark-beetle-ips-amitinus>
- Zuber M., Meyer H., Kohnle U., Francke W. Odour production and pheromone response in the European engraver bark beetles, *Ips amitinus* (Eichh.) and *Ips amitinus* var. *montana* Fuchs (Col., Scolytidae) // J. Appl. Entomol. 1993. V. 115. Iss. 1–5. P. 462–465.

## THE PHEROMONE OF INVASIVE POPULATIONS OF BARK BEETLE *Ips amitinus* (Eichhoff) IN RUSSIA HAS NOT BEEN FOUND YET

I. A. Kerchev<sup>1</sup>, N. I. Kirichenko<sup>2,3</sup>, Yu. N. Baranchikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademicheskij Prospekt, 10/3, Tomsk, 634055 Russian Federation

<sup>2</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>3</sup> Krasnoyarsk Branch of the All-Russian Center for Plant Quarantine Zhelyabova str., 6/6, Krasnoyarsk, 660020 Russian Federation

E-mail: ivankerchev@gmail.com, nkirichenko@yahoo.com, baranchikov\_yuri@yahoo.com

The small spruce bark beetle (*Ips amitinus* (Eichhoff)) is the European species which invaded Siberia providing outbreaks in forests predominated by its new host plant, the Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour). The barrier pheromone traps with dispensers containing synthetic aggregation pheromone of small spruce bark beetle produced by the Russian Quarantine Center (VNIKR) and the Austrian company Witasek were placed in the pest foci in the Siberian pine forest of the Tomsk Region and regularly checked in June–August 2024. During the period of bark beetle flight, the synthetic pheromones of Russian and Austrian producers attracted no one small spruce bark beetle specimen. Instead, the Russian pheromone attracted specialized entomophagous predator *Thanasius femoralis* (Zetterstedt) and a number of non-target species of bark beetles and sawyer beetles. The catches on the Austrian pheromone were indistinguishable from control traps in terms of the composition of attracted insect species. The necessity of additional research on the development of efficient pheromone mixtures for monitoring small spruce bark beetle in its secondary range is emphasized.

**Keywords:** small spruce bark beetle, invasion, protection of Siberian pine forests, pheromone monitoring.

**How to cite:** Kerchev I. A., Kirichenko N. I., Baranchikov Yu. N. The pheromone of invasive populations of bark beetle *Ips amitinus* (Eichhoff) in Russia has not been found yet // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 3–9 (in Russian with English abstract and references).

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

УДК 630.2 (571.51)

### О ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕСОВ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

А. А. Онучин, В. А. Соколов, О. П. Втюрина

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, sokolovva@ksc.krasn.ru, olgavt@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 30.07.2024 г.

За последние два десятилетия ежегодно в Сибири вырубалось около 600 тыс. га лесов, примерно столько же уничтожалось лесными пожарами, а также повреждалось вредителями леса (сибирским шелкопрядом – *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, полиграфом уссурийским – *Polygraphus proximus* Blandford и др.), а также ветровалами и промышленными эмиссиями. Сложные изменения в лесном покрове свидетельствуют об ухудшении качественного состава лесов. Причины этого – не глобальное потепление климата, а и вполне предсказуемые антропогенные и природные факторы: рубки леса, пожары и очаги вредителей леса, естественные возобновительные процессы, отчуждения вследствие развития инфраструктуры. Лесное хозяйство России пока далеко от решения проблемы полноценного воспроизводства лесов. Устранение негативных явлений может быть достигнуто посредством последующих лесохозяйственных мероприятий, включающих рубки ухода, охрану и защиту леса. Длительный период воспроизводства в лесном хозяйстве диктует необходимость принятия решений, результаты которых будут проявляться много десятилетий спустя. Система действий должна быть нацелена на адаптацию лесов к прогнозируемым природным и экономическим изменениям.

**Ключевые слова:** лесовозобновление, лесные культуры, естественное лесозаращивание, лесопользование.

DOI: 10.15372/SJFS20240602

Актуальное положение дел в лесном секторе России требует изменений в лесной политике. Использование лесных ресурсов в настоящий момент ориентировано в основном на рубку лесов пионерного освоения и вторичных лесов естественного происхождения, выращенных без существенных затрат на их воспроизводство. Экстенсивная модель развития лесной отрасли России, в том числе и Сибири, а также принятие Лесного кодекса (2006), в котором понятие «лесное хозяйство» исчезло, привели к негативным изменениям в структуре лесного фонда и к дефициту качественного сырья, востребованного предприятиями лесного комплекса. Со второй половины XX в. доля площадей, занятых наиболее ценными спелыми и перестойными насаждениями, сократилась в 1.4 раза, несмотря на достаточно большие объемы лесовосстановительных мероприятий. Это снижение происхо-

дит в основном за счет интенсивно вырубаемых хвойных древостоев, лесных пожаров и очагов насекомых-вредителей (болезней), а восполнение выбываемых запасов леса спелыми и перестойными хвойными древостоями происходит только на 1/3 (Проблемы..., 1998; Кашпор, 2006; Соколов, 2008; Sokolov, 2008; Исаев, Коровин, 2009; Онучин и др., 2010; Бондарев и др., 2015).

Продолжающаяся деградация лесных ресурсов Сибири окажет негативное влияние на состояние лесного комплекса. Так, от воздействия полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandford) только по Красноярскому краю по состоянию на 2022 г. площадь поврежденных и погибших древостоев составляла более 550 тыс. га, а от воздействия сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov) лишь в Енисейском и Северо-Енисейском районах – более 800 тыс. га. В этой связи необходимо

принятие своевременных решений, касающихся полноценного воспроизводства лесных ресурсов, обеспечивающих соблюдение принципов устойчивого управления лесами (Швиденко и др., 2017). Необходимо отметить, что лесное хозяйство России пока далеко от решения проблемы полноценного воспроизводства лесов, подразумевающей ряд этапов, которые должны последовательно реализовываться для достижения конечной цели. Воспроизводству лесных ресурсов предшествует процесс лесовосстановления, который подразумевает восстановление вырубленных, погибших или поврежденных лесов и который обеспечивает формирование сомкнутого молодого леса, но не гарантирует необходимой структуры и целевых функций спелого леса. Последнее может быть достигнуто посредством последующих лесохозяйственных мероприятий, включающих рубки ухода, охрану и защиту леса.

Процесс лесовосстановления начинается с лесовозобновления – образования нового поколения леса под пологом древостоя, на вырубках, гарях и других площадях, ранее бывших под лесом. Возобновление леса бывает естественное, искусственное и комбинированное (Лесная энциклопедия, 1985).

Обширная территория Красноярского края характеризуется большим разнообразием климатических и почвенных условий, рельефа, типов леса, способов рубок и лесовозобновления, а также интенсивностью ведения лесного хозяйства. В связи с этим лесовозобновление должно рассматриваться для конкретных подзон: северотаяжской, среднетаяжской, южно-таяжской, лесостепи, горно-таяжской и горно-черновой.

В северотаяжской подзоне возобновительные процессы под пологом леса сильно ослаблены. Количество подроста из-за конкуренции с материнским древостоем за минеральное питание и влагу в ограниченном мерзлотой корнеобитаемом слое редко превышает 2–3 тыс. шт./га. Из-за неудовлетворительного естественного возобновления безлесные пространства здесь занимают площадь 5.6 млн га. Земли, на которых возможно возобновление леса, составляют 553.1 тыс. га. Из-за недоступности для хозяйственного использования они оставлены под естественное зарастание (Соколов и др., 2017).

В среднетаяжской подзоне преобладает мшистая группа типов леса, включающая ягодниково-мшистый, мшистый, долгомошниковый, зеленомошный типы. Характер лесовозобновительных процессов под пологом насажде-

ний неоднороден. По данным лесоустройства, на площадях, намеченных в рубку, количество подроста, необходимое для формирования хвойных насаждений, составляло в мшистой группе типов леса 90 % площади, в разнотравной – 70, в ягодниково-мшистой – 41.5 и в лишайниковой – 34.7 %. В этой подзоне 85 % площади оставлено под естественное зарастание, на 15 % – необходимо проведение мер содействия естественному возобновлению.

В южно-таяжской подзоне доминирует зеленомошная группа типов леса. Под пологом спелых и перестойных темнохвойных лесов количество естественного возобновления по провинциям различается незначительно, но в сосновых – существенно. Благонадежным подростом в западной провинции обеспечено 60–70 % ельников, пихтарников и кедровников, а в восточной – 50–60 %, но в сосновых в западной провинции – 39 %, а в восточной – 82 % (Векшин и др., 2001).

Бессистемные интенсивные лесозаготовки, частые лесные пожары и очаги сибирского шелкопряда привели к накоплению в этой подзоне около 900 тыс. га земель, потерявших лесной покров. В южно-таяжской подзоне 25 % площади оставляется под естественное зарастание, на 37 % проводятся меры содействия естественному возобновлению и на 38 % – мероприятия по искусственному возобновлению леса (Соколов и др., 2017).

В подтаяжно-лесостепной подзоне наиболее обеспечены хвойным подростом ельники и осинники зеленомошные, а также пихтарники крупнотравные – 90 % площадей. Обеспеченность предварительным возобновлением светлых хвойных лесов – 40 %, березовых – 50 и осинных – 36 %. В этой подзоне на 36 % площади обеспечивается естественное возобновление леса, на 36 – необходимо проведение мер содействия естественному возобновлению леса и на 28 % – создание лесных культур.

В горно-таяжских лесах 50 % спелых и перестойных насаждений произрастает в зеленомошной группе типов леса и 25 % – в разнотравной. Благонадежным подростом под пологом леса обеспечено 93 % кедровников, 87 % пихтарников, 80 % ельников и 85 % лиственничников. В этой подзоне на 37 % площади лесов возобновление леса обеспечивается естественным путем, на 27 % – необходимо проведение мер содействия естественному возобновлению леса и на 36 % требуется искусственное лесовозобновление.



Объемы работ по лесовосстановлению  
в Красноярском крае

| Год  | Площадь лесовосстановления, тыс. га |                 |                                        |
|------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|
|      | общая                               | лесные культуры | содействие естественному возобновлению |
| 2007 | 60.3                                | 9.0             | 51.3                                   |
| 2015 | 77.6                                | 8.0             | 69.6                                   |
| 2021 | 104.4                               | 10.1            | 94.3                                   |
| 2022 | 105.8                               | 10.5            | 95.3                                   |
| 2023 | 127.3                               | 9.1             | 118.2                                  |

По данным Государственного лесного реестра, фонд лесовосстановления в Красноярском крае насчитывает около 3 млн га, большую часть которого составляют гари – 2 млн га. На долю вырубок приходится 0.4 млн га. Естественным путем хвойными породами может быть восстановлено только 22 % площади.

По данным Государственных докладов о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае (см. таблицу), 78 % фонда лесовосстановления, или 2.3 млн га, требуют создания лесных культур и проведения мер содействия естественному возобновлению. В то же время практика воспроизводства лесов в Красноярском крае свидетельствует о том, что из-за некачественных мер ухода или отсутствия таковых созданные лесные культуры, как правило, гибнут и рукотворные леса числятся только на бумаге.

Следовательно, искусственное лесовосстановление практически не влияет на лесовосстановительные процессы. Доля лесных культур в Красноярском крае составляет только 0.3 % от покрытых лесом земель, доля погибших лесных культур – такая же.

К сожалению, весь опыт пионерного освоения первичных лесов свидетельствует о том, что несмотря на огромные средства и усилия по восстановлению породного состава их, желаемого результата получить не удалось. В большинстве случаев восстановительные сукцессии на вырубках таежной зоны с проведенными лесовосстановительными мероприятиями практически ничем не отличаются от таковых, где эти мероприятия не проводились. Если происходит естественная смена хвойных лесов на мягколиственные, то она идет независимо от принимаемых мер по предотвращению этого процесса.

Одной из ключевых задач, определенной «Основами государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизвод-

ства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года» (2013), является интенсификация использования и воспроизводства лесов. В развитие этих основ Министерство природных ресурсов и экологии России предложило Концепцию интенсификации использования и воспроизводства лесов и Дорожную карту по ее реализации. В соответствии с Концепцией должны быть определены территории для ведения интенсивного лесопользования и воспроизводства лесов. В интерпретации Дорожной карты – это преимущественно районы, где сосредоточены основные объемы заготовки древесины и большая часть эксплуатационных лесов находится в аренде. Территория интенсивного лесопользования составляет около 30 % площади эксплуатационных лесов.

Искусственное лесовосстановление рассматривается как длительный процесс, изменяющийся в пространстве и во времени, и состоящий из нескольких этапов, начиная с получения семян с высокими наследственными свойствами и заканчивая формированием хозяйственно ценных молодняков. Основными этапами при выращивании искусственных насаждений являются лесосеменной, лесопитомнический, лесокультурный и лесоводственный.

Начальный этап искусственного лесовосстановления – лесосеменной. Для условий Сибири разработано лесосеменное районирование для лесобразующих хвойных пород, методы создания лесосеменных плантаций и участков, изучены полиморфизм лесных пород по ряду морфологических, биохимических, кариологических и других признаков, семенная продуктивность и качество семян, методы селекционной инвентаризации лесов и отбора лучших насаждений и деревьев в отдельных регионах (Милютин, 1988).

Искусственное лесовыращивание зависит от качества используемого посадочного материала. Для этого разрабатываются промышленные технологии выращивания посадочного материала в разных почвенно-климатических условиях и дифференцированный подход при решении вопросов использования сеянцев или саженцев с открытой или закрытой корневой системой, а также их оптимального возраста. Необходимо разработка рекомендаций по выращиванию крупномерного или укрупненного посадочного материала (в зависимости от его биоэкологических особенностей), а также сеянцев или саженцев с закрытой корневой системой. Последнее, на наш взгляд, является перспективным направлением в искусственном лесовосстановлении.

Вопросы, связанные непосредственно с методами и способами создания лесных культур, особенно для таежной зоны, недостаточно изучены. Из-за специфичности почвенно-климатических условий, труднодоступности северных территорий для транспорта в весенне-летний период разрабатываются специальные агротехнические способы производства культур. На данном этапе решаются задачи, связанные с выбором культивируемой породы, соответствием ее биологических особенностей почвенно-экологическим условиям местопроизрастания, а также разрабатываются такие технологии выращивания культур, которые минимизируют в дальнейшем необходимость в агротехнических уходах.

В благоприятных почвенно-климатических условиях Красноярского края перспективным является изучение плантационного выращивания хвойных и лиственных пород, например, создание плантаций с ускоренным циклом выращивания необходимых сортиментов, промышленных орехоплодных плантаций кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) и т. д.

Перспективным направлением в лесокультурном производстве является разработка принципиально новых методов искусственного лесовосстановления на базе биотехнологии и генной инженерии – микроклонирование, получение трансгенного посадочного материала (Милютин, Бузыкин, 1990).

Необходимо выделить следующие узловые проблемы, которые следует решить в настоящее время:

- разработка региональных руководств по созданию постоянной лесосеменной базы, а также селекционно-семеноводческих центров с учетом природных и экономических особенностей регионов;

- исследование вопросов, связанных с интенсификацией технологий выращивания посадочного материала с открытой и закрытой корневой системой на базе комплексной механизации и использования семян с высокими наследственными свойствами;

- изучение состояния площадей лесокультурного фонда и качества искусственного лесовосстановления, научное обоснование объемов искусственного возобновления лесов и их территориального размещения с использованием ГИС;

- соблюдение технологических основ и способов искусственного лесовыращивания на период от получения семян до формирования хо-

зяйственно ценных молодняков на ландшафтно-типологической основе.

Решая задачу воспроизводства лесных ресурсов, включая экосистемные услуги, необходимо особое внимание уделять собственно выращиванию целевых лесов, формируя их структуру комплексом лесохозяйственных мероприятий на протяжении всего цикла лесовыращивания (рубки ухода, охрана и защита леса).

Опыт по разработке технологий интенсивного лесовыращивания в Сибири свидетельствует о том, что в лучших лесорастительных условиях при должном уходе возможно получение дополнительного прироста в объеме до 14 м<sup>3</sup> с 1 га в год. Таким образом, получение среднего годового прироста в период интенсивного роста древостоев свыше 20 м<sup>3</sup>/га – задача вполне реальная, это при том, что средний прирост по России с учетом потерь от пожаров и вредителей леса составляет 1.5, а по Сибири – 1.3 м<sup>3</sup>/га.

Использование передовых технологий выращивания качественной древесины в масштабах страны позволит сократить сроки ее выращивания с одновременным повышением продуктивности насаждений, защитить от бессистемной вырубki большие площади лесов пионерного освоения, произрастающих в труднодоступных районах и выполняющих важнейшие экологические функции, обеспечивающих сохранение биологического разнообразия и являющихся средой обитания диких животных.

Практика лесопользования последних десятилетий показывает, что при переводе несомкнувшихся лесных культур или естественно сформированных молодняков в категорию хозяйственно ценных должен быть еще один период, в течение которого проверяется успешность формирования лесов целевого состава. В Сибири этот период в зависимости от лесорастительных условий занимает до 30–50 лет. Однако культур в таком возрасте очень мало. Даже в Европейской части России доля лесных культур старше 40 лет составляет всего 5 % от их общей площади, следовательно, примерно 3/4 созданных культур гибнут, не достигнув этого возраста (Кашпор, 2006).

С учетом вышесказанного, можно сделать вывод, что действующая практика искусственного восстановления лесов путем создания лесных культур не оказывает существенного влияния на динамику лесов в регионе.

Изменить ситуацию с созданием лесных культур, особенно с переходом к модели интенсивного использования и воспроизводства ле-

сов, можно за счет грамотного планирования лесокультурных мероприятий, сосредоточив их в соответствующих лесорастительных условиях, применяя высокотехнологичные приемы с минимизацией ручного труда, которые обеспечат высокую экономическую эффективность лесохозяйственных мероприятий. Объемы финансовых и материальных вложений в лесовосстановление должны быть оправданы последующей отдачей повышения продуктивности и экосистемных услуг целевых насаждений.

В долгосрочной перспективе проблемы воспроизводства лесных ресурсов и снабжения лесопромышленного комплекса сырьем должны решаться за счет повышения продуктивности лесов лесохозяйственными мероприятиями, включающими использование методов плантационного лесовыращивания, эффективную охрану и защиту лесов. Этот путь может обеспечить удовлетворение спроса на древесную продукцию высокого качества, которая всегда будет востребована.

Интенсивная модель лесопользования является частью системы устойчивого управления лесами, которая должна базироваться на гармоничном сочетании интенсивной и экстенсивной моделей лесопользования. Начать следует с зонирования территории. По экспертным оценкам, доля лесов интенсивной формы ведения хозяйства в Сибири составляет 10–15 % от площади лесного фонда, в которых можно заготавливать от 45 до 60 % от общего объема потребной лесной продукции. В лесах экстенсивной формы ведения хозяйства, доля которых составляет от 25 до 30 %, объемы лесозаготовок могут составлять 35–45 %. Суммарная площадь защитных и резервных лесов может достигать 50–60 %, а объемы лесозаготовок в них не должны превышать 10 % от общего объема заготовки древесины.

Важным условием оценки эффективности воспроизводства лесов является наличие соответствующих критериев соотношения площадей:

- вырубленных, нарушенных пожарами, насекомыми-вредителями и болезнями, на которых появились в достаточном количестве всходы и самосев целевых пород за счет естественного и искусственного возобновления;

- не покрытых лесом земель в составе лесного фонда с площадями, на которых сформировался ценный молодой лес нужного состава и оптимальной густоты, способный посредством последующих рубок ухода обеспечить воспроизводство целевых лесов к концу цикла лесовыращивания;

- вырубленных, нарушенных пожарами, насекомыми-вредителями и болезнями спелых и перестойных насаждений с площадями приспевающих насаждений, перешедших в категорию спелых.

Для интегральной оценки эффективности воспроизводства лесов предлагаются следующие весовые коэффициенты для каждого из критериев: для первого 0.5, для второго 0.3 и для третьего 0.2. Таким образом, если соотношение площадей по первому критерию будет на уровне 120 %, по второму – 70 %, а по третьему – на уровне 20 %, общая эффективность воспроизводства лесов составит  $120 \cdot 0.5 + 70 \cdot 0.3 + 20 \cdot 0.2 = 85 \%$ .

Необходимо признать, что в России полноценного лесного хозяйства, нацеленного на воспроизводство хозяйственно ценных лесов взамен вырубленных или погибших, почти нигде нет, а если где-то местами оно и велось, то и вымерло в результате лесных реформ последних двух десятилетий. Лесное хозяйство необходимо вести в расчете на реальный результат, а не просто на поддержание отраслевой отчетности, осознавая, что для достижения конечного результата в части воспроизводства целевых лесов недостаточно обеспечивать лесовосстановление посредством процессов лесовозобновления. В данном случае необходимо особое внимание уделять собственно дальнейшему выращиванию целевых лесов, формируя их структуру комплексом лесохозяйственных мероприятий на протяжении всего цикла лесовыращивания (рубки ухода, охрана и защита леса). Считается, что ключевое значение для всего цикла лесовыращивания имеет этап рубок ухода в молодняках: именно от них зависит, получится ли на конкретном участке сформировать ценный молодой лес нужного состава и оптимальной густоты, способный посредством последующих рубок ухода обеспечить воспроизводство целевых лесов к концу цикла лесовыращивания.

Для соблюдения принципов устойчивого управления лесами необходимо сохранение пока еще действенной Российской службы защиты леса, эффективно осуществляющей государственный мониторинг воспроизводства лесов и государственный лесопатологический мониторинг, направленные на раннее выявление повреждений леса вредными организмами, используя совокупность дистанционных методов мониторинга в сочетании с наземными обследованиями с целью своевременного назначения как лесозащитных, так и лесовосстановитель-



ных мероприятий в поврежденных и погибших насаждениях в результате деятельности насекомых и болезней леса.

*Работа выполнена в рамках базового проекта «Роль природных и антропогенных факторов в системе устойчивого управления лесами Сибири». FWES-2024-0007. Регистрационный номер НИОКТР 124012900559-4.*

*Авторы выражают благодарность директору филиала ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Красноярского края» В. В. Солдатову за предоставленную при подготовке статьи полезную информацию.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарев А. И., Онучин А. А., Читоркин В. В., Соколов В. А. О концептуальных положениях использования и воспроизводства лесов в Сибири // ИВУЗ. Лесн. журн. 2015. № 6. С. 25–34.
- Векишин В. Н., Бельков В. В., Овчинников Ф. М. и др. Анализ особенностей восстановления лесов в Красноярском крае // Эколого-экономические проблемы Восточно-Сибирского региона ВСО МЭЭСИ. Красноярск: КГТУ, 2001. С. 16–28.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н. Актуальные проблемы национальной лесной политики. М.: Ин-т устойчив. развития; Центр экол. политики России, 2009. 108 с.
- Кашир Н. И. Воспроизводство лесов: состояние и перспективы // Рос. лесн. газета. 2006. № 18–19. С. 6.
- Лесная энциклопедия. В 2-х т. М.: Сов. энцикл., 1985. 563 с.
- Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 26.03.2022). М., 2006.
- Милютин Л. И. Генетико-селекционные проблемы лесовосстановления в таежной зоне Сибири // Проблемы лесовосстановления в таежной зоне СССР. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1988. С. 161–163.
- Милютин Л. И., Бузыкин А. И. Воспроизводство лесных ресурсов в Сибири // Развитие производительных сил в Сибири. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1990. С. 17–21.
- Онучин А. А., Соколов В. А., Втюрина О. П. Перспективы интенсификации лесного хозяйства в Сибири // Лесн. хоз-во. 2010. № 6. С. 11–12.
- Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года. Утв. распоряж. Правительства РФ от 26.09.2013 № 1724-р. М.: Правительство РФ, 2013.
- Проблемы устойчивого лесопользования / В. А. Соколов, И. М. Данилин, С. К. Фарбер и др. Красноярск: Изд-во СО РАН, 1998. 225 с.
- Соколов В. А. Перспективы развития лесного комплекса Сибири // Сиб. экол. журн. 2008. № 3. С. 361–369.
- Соколов В. А., Вараксин Г. С., Фарбер С. К. Организация хозяйства в лесах Красноярского края. Saarbruken, Germany: Lambert Acad. Publ., 2017. 190 с.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г., Кракснер Ф., Онучин А. А. Переход к устойчивому управлению лесами в России: теоретико-методические предпосылки // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 3–25.
- Sokolov V. A. Prospects of the forestry development in Siberia // Contemp. Probl. Ecol. 2008. V. 1. Iss. 3. 289–294 (Original Rus. Text © V. A. Sokolov, 2008, publ. in Sib. Ecol. Zhurn. 2008. V. 15. N. 3. P. 361–369).

## FOREST REPRODUCTION IN KRASNOYARSK KRAI

**A. A. Onuchin, V. A. Sokolov, O. P. Vtyurina**

*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, sokolovva@ksc.krasn.ru, olgavt@ksc.krasn.ru

On average, in Siberia about 600 thousand hectares of forests have been annually cut down in the last two decades and about the same much damage from forest fires. Furthermore, forest stands have been damaged by pests (Siberian silkworm (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov), four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandford), etc.) as well as windfalls and industrial emissions. Forest cover significant changes indicate the need identifying the causes of those changes for the purpose of eliminating negative phenomena. The forest fund dynamics disclose a deterioration of the qualitative species composition. The reasons for this are not only global climate warming, but and quite predictable human and natural factors: logging, forest fires, forest insect outbreaks, natural forest regeneration processes, and forest land transfers for infrastructure development. Forestry in Russia is still far from solving the problem of full-fledged forest reproduction. Forest reproduction involves a number of stages that must be consistently implemented to achieve the final goal. Reproduction of forest resources is preceded by the process of reforestation, which involves the restoration of cut, dead or damaged forests and which ensures the formation of a closed young forest, but does not guarantee the necessary structure and target functions of a mature forest. The latter can be achieved through subsequent forestry measures, including thinning, forest protection and conservation. The long period of forest regeneration calls for the need for decision-making, which results will be achieved in many decades later. The action system should be aimed at adapting forests to predicted natural and economic transformations.

**Keywords:** *reforestation, forest crops, natural forest growth, forest use.*

**How to cite:** *Onuchin A. A., Sokolov V. A., Vtyurina O. P. Forest reproduction in Krasnoyarsk Krai // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 10–16 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*524.15

## ДОЛЯ ПРЯМОСТВОЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ У КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ В СИБИРИ

С. Р. Кузьмин, Н. А. Кузьмина

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

E-mail: kuz@ksc.krasn.ru, skr\_7@mail.ru

Поступила в редакцию 12.03.2024 г.

Выполнен анализ доли кривоствольных деревьев у климатипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в географических культурах Богучанского лесничества с разными почвенными условиями в южной тайге Красноярского края. В суглинистой почве она оказалась меньше, чем в песчаной, где древостои западных и южных климатипов гораздо чаще подвержены влиянию различных стрессовых факторов, вызывающих в молодом возрасте искривление ствола, в том числе и из-за замещения центрального побега. На суглинистых почвах южных климатипов лесостепных территорий доля таких деревьев значительна. У климатипов из восточных регионов России (Сибирь, Забайкалье, Дальний Восток) и из таежной зоны европейской и азиатской частей ареала сосны она в основном невелика (0–20 %). С увеличением северной широты мест происхождения климатипов, снижением массы исходных семян (из которых выращивались географические культуры) доля прямоствольных деревьев возрастает у потомств климатипов в разных почвенных условиях в географических культурах.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, происхождение, прямоствольность, кривоствольность, перемещение семян.

DOI: 10.15372/SJFS20240603

### ВВЕДЕНИЕ

Форма ствола – прямостоячая или искривленная, по мнению многих исследователей, считается наследственным признаком, но в то же время часто является показателем наследственной неустойчивости к грибным болезням, вредителям, заморозкам, навалу снега, ветроустойчивости (Вересин, 1963; Молотков и др., 1982). Исследователи географических культур (Фомин, 1940; Prescher, Ståhl, 1986; Shutyaev, Giertych, 2000; Николаева и др., 2016) отмечали, что большей кривоствольностью отличаются южные и восточные климатипы. Признак прямизны ствола связывают как с лесорастительными условиями, так и с сомкнутостью насаждений. Так, согласно В. Л. Черепнину (1980), в географических культурах сосны (*Pinus* L.) в северной лесостепи качество ствола значительно лучше, чем в культурах, созданных в южной

лесостепи, также он отмечал повышение количества искривленных стволов при редком размещении культур независимо от происхождения сосны. В географических культурах, созданных в условиях лесостепной зоны Верхнего Приобья (Сузунское лесничество Новосибирской обл.), потомство местной популяции характеризуется сильной степенью искривленности и вильчатости стволов (Тараканов и др., 2001). Авторы отмечают, что искривленность и вильчатость являются наследственно закрепленными признаками у сузунской сосны, и предполагают, что при целевом отборе семенных деревьев закрепленный эффект вильчатости будет в значительной мере подавлен.

Важность условий испытания и возраста географических культур при исследовании прямоствольности деревьев сосны в Западном Забайкалье подчеркивала Т. Н. Новикова (2006). В 24-летнем возрасте доля искривленных де-



ревьев у балгазынского климатипа возрастает до 14.1 % по сравнению с 15-летним возрастом. Климатипы из северных пунктов ареала сосны (северо-енисейский и туруханский) в Западном Забайкалье имеют худшее качество стволов (до 19.2 % искривленных деревьев), что объясняется способностью северных климатипов в условиях с более продолжительным периодом вегетации образовывать вторичный прирост, который повреждается ранними осенними заморозками, что приводит к многостволости (Новикова, 2006). Таким образом, форма или степень искривленности стволов у деревьев является важным показателем технического качества дерева по выходу деловых и полуделовых сортиментов. Кривизна стволов приводит к образованию повышенных отходов и потерь древесины (Мелехов и др., 2013). В связи с этим данный показатель важен при отборе перспективных климатипов в географических культурах.

Цель работы – оценить долю прямоствольных деревьев у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного происхождения в географических культурах Богучанского лесничества. Анализ различий между происхождениями сосны и сравнение реакции потомств в разных почвенных условиях экспериментальных участков, расположенных в одинаковых климатических условиях южной тайги Красноярского края, проводится впервые.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований были географические культуры сосны обыкновенной, созданные в 1977 г. в Богучанском лесхозе Красноярского края (58°39' с. ш., 97°30' в. д.). По лесорастительному районированию (Коротков, 1994) Богучанское лесничество расположено в Ангарском округе южно-таежных и подтаежных светлехвойных лесов. Большая часть округа представлена сосновыми и лиственничными лесами (Жуков и др., 1969). При создании и изучении географических культур использовали программу и методику ВНИИЛМ (Изучение..., 1972). Географические культуры создавались 3-летними сеянцами на участках с разными почвенными условиями. Первый участок (№ 1) площадью 15 га расположен на старой вырубке, возобновившейся сосной, с дерново-подзолистой песчаной почвой с маломощным гумусовым горизонтом (до 3 см), тип леса – сосняк бруснично-толокнянковый, состав древостоя 10С.

Второй участок (№ 2) площадью 9 га размещен на старой залежи, поверхность участка ровная, почва темно-серая лесная суглинистая, с мощным гумусовым горизонтом (до 40 см), тип леса – сосняк разнотравный с составом 9С1Л. Почва участка более богата микробиологическими соединениями, азотом, фосфором, калием (Наумова и др., 2009; Naumova et al., 2009). Анализ архивных климатических характеристик климатических экотипов проводился по данным серии «Справочник по климату СССР» (1964–1969).

Подготовка почвы проводилась по системе сплошной зяблевой вспашки на глубину 20–30 см. Географические культуры создавались 3-летними сеянцами, высаженными рядами в отдельные блоки, преимущественно в однократной повторности, контроль – богучанский климатип (авторский номер 42), имел четырехкратную повторность, данные по которой усреднялись. Посадку культур проводили под меч Колесова. Расстояние между рядами 1.5 м, расстояние между деревьями в ряду 0.75 м. Примерная густота посадки (фактическая) – 8000 шт./га. Каждое потомство климатипа занимает площадку 50 × 18 м. В географических культурах испытываются потомства 83 климатических экотипов (далее называемые климатипами) с диапазоном происхождений от Латвии до Хабаровского края и от Мурманской области до Казахстана. Список климатипов представлен ранее (Кузьмина, Кузьмин, 2007; Kuzmina, Kuzmin, 2008). Климатипы представляют собой популяции разного географического происхождения, сформировавшиеся в различных физико-климатических условиях (Изучение..., 1972). Термин климатип имеет синонимы: происхождение, провениенция. Термин «климатический экотип» (климатическая раса, или разновидность) является более крупной номенклатурной единицей, чем «климатип» (Правдин, 1964).

В 37-летнем возрасте средняя высота деревьев на песчаной почве по климатипам варьирует от  $3.5 \pm 0.25$  до  $9.7 \pm 0.30$  м, на суглинистой – от  $11.9 \pm 0.19$  до  $18.2 \pm 0.20$  м. Средний диаметр на песчаной почве составляет  $5.4 \pm 0.13$  см, пределы варьирования – от  $2.7 \pm 0.24$  до  $8.4 \pm 0.32$  см, на суглинистой почве средний диаметр –  $15.6 \pm 0.24$  см, пределы варьирования – от  $10.0 \pm 0.52$  до  $22.0 \pm 0.85$  см. Средняя сохранность на песчаной почве составляет 62 %, на суглинистой – 26 %.

Учет формы ствола проводили в 28 лет при сплошном учете деревьев и в 37 лет при изме-

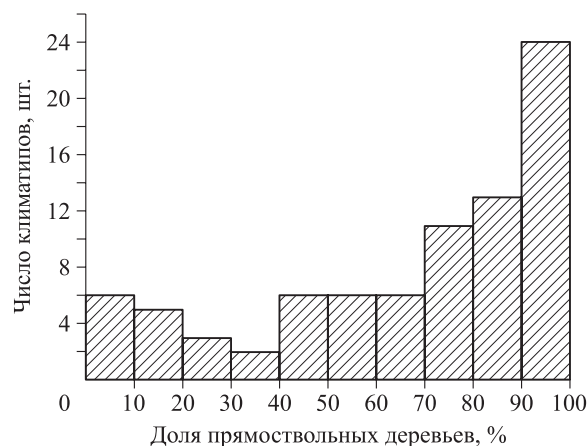
рении высот и диаметров в количестве от 50 до 100 деревьев по каждому из вариантов. В результате учета определялась доля (%) прямых деревьев в древостое каждого климатипа, при этом к кривоствольным относились деревья с любой степенью искривления как в нижней, так и в верхней частях ствола. Этот подход позволяет упростить и ускорить учет и анализ климатипов по форме ствола, особенно когда речь идет о нескольких тысячах исследуемых деревьев. В то же время, существуют методические подходы с дробной балльной оценкой кривизны ствола и отдельным учетом таких признаков, как многоствольность, многовершинность, сучковатость (Шавнин и др., 2019). Авторами данного методического подхода сделан вывод о том, что именно кривизна ствола является признаком, наиболее важным для достоверного выявления различий между сравниваемыми древостоями на пробных площадях в природных и искусственно созданных насаждениях.

Ранее в исследуемых географических культурах на участке с песчаной почвой проведен анализ устойчивости климатипов к вспышкам грибных заболеваний (Кузьмина, Кузьмин, 2009) и обнаружены морозобойные повреждения годичных колец (Кузьмин, 2012).

В ходе статистической обработки результатов использовался частотный анализ распределения данных, корреляционный анализ Пирсона и Спирмена, множественный регрессионный анализ (Statistica 8.0).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях песчаной почвы доля прямоствольных деревьев у климатипов варьирует от 0 % (гаваньский (№ 15) (Брянская обл.), челнавский (№ 16) (Тамбовская обл.), воронежский (№ 17) (Воронежская обл.), вольский (№ 20) (Саратовская обл.), дубровицкий (№ 66) (Ровенская обл., Украина) и ленинский (№ 67) (Гомельская область, Беларусь)) до 100 % (кандалакшский (№ 2) (Мурманская обл.), плесецкий (№ 3) (Архангельская обл.), чупинский (№ 6) и пряжинский (№ 7) (Карелия), корткеросский (№ 63) (Коми), енисейский (№ 47) (Красноярский край), читинский (№ 81) (Забайкальский край)). Среднее значение на экспериментальном участке равно 67 %, медиана – 78 %. Выражена сильная левосторонняя асимметрия ряда распределения, пик не острый (коэффициент асимметрии равен  $-0.96 \pm 0.27$ , коэффициент эксцес-



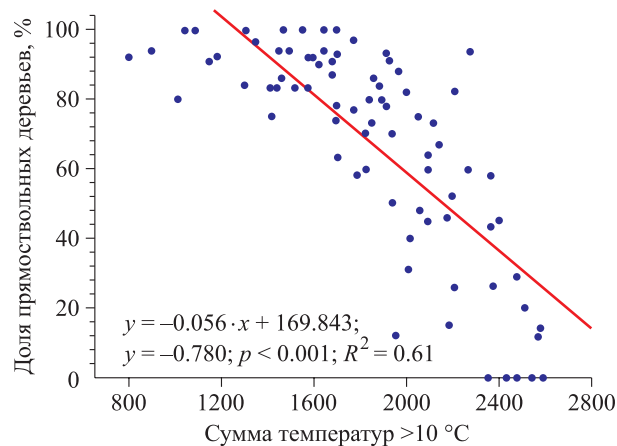
**Рис. 1.** Распределение значений доли прямоствольных деревьев у климатипов в условиях песчаной почвы.

са  $-0.24 \pm 0.53$ ). Распределение ненормальное (рис. 1).

Коэффициент изменчивости признака очень высокий и равен 47 %, по доле прямоствольных деревьев климатипы сильно дифференцированы. В ходе анализа условно выделены группы климатипов – с низкой долей (< 50 %) прямоствольных деревьев (22 климатипа) и с высокой долей (> 80 %) прямоствольных деревьев, представленную большим числом климатипов (37).

Контрольный вариант (№ 42, см. рис. 3 и 6) имеет 87 % прямоствольных деревьев. Значение этого показателя выше 80 % отмечается у 48 % исследуемых климатипов, что можно считать приемлемым при отборе лучших происхождений. Самая сильная связь, при которой регрессионная линейная модель наиболее точно описывает зависимость доли прямоствольных деревьев от климатических характеристик мест происхождения климатипов отмечается с суммой температур  $> 10^\circ\text{C}$  ( $y = -0.056 \cdot x + 169.8$ ;  $r = -0.78$ ;  $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.61$ ;  $n = 82$ ) (рис. 2). Связь отрицательная.

Климатипы из более холодных условий имеют в географических культурах 100 % прямоствольных деревьев, что подтверждается значимыми отрицательными корреляциями (Спирмена) с длиной активного вегетационного периода ( $r = -0.78$ ;  $p < 0.001$ ) и с продолжительностью безморозного периода ( $r = -0.57$ ;  $p < 0.001$ ). Выявлена отрицательная связь между долей прямоствольных деревьев и массой семян материнских насаждений ( $r = -0.66$ ;  $p < 0.001$ ). Положительные значимые связи отмечаются с северной широтой ( $r = 0.53$ ;  $p < 0.001$ ) и восточной долготой ( $r = 0.35$ ;  $p < 0.01$ ). На прямизну стволов на участке с песчаной почвой положи-



**Рис. 2.** Регрессионная линейная модель зависимости доли прямоствольных деревьев у климатипов сосны в условиях песчаной почвы от суммы температур > 10 °С в пунктах происхождения.

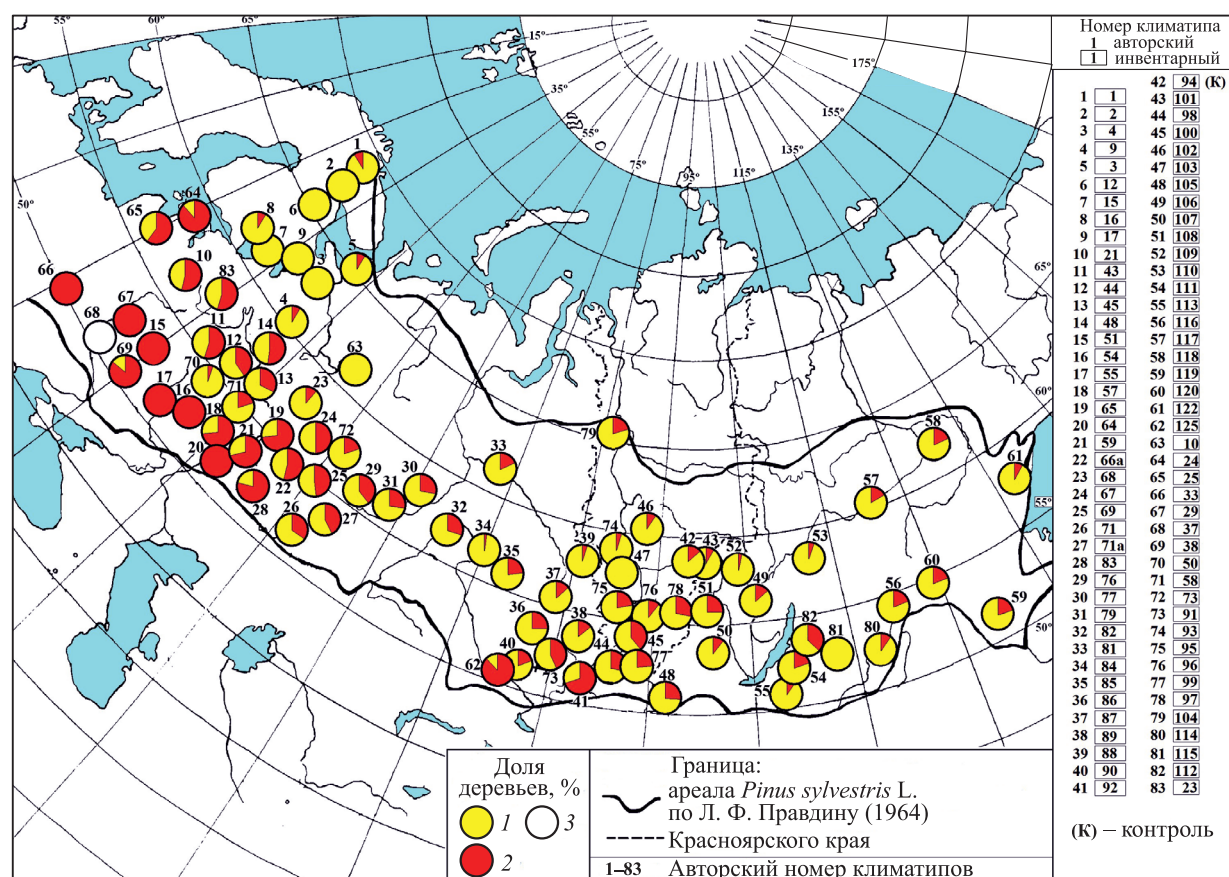
тельное влияние оказывает густота древостоя ( $r = 0.46$ ;  $p < 0.001$ ).

Полученные результаты частично согласуются с общими закономерностями, отмеченными в литературе по сосне обыкновенной из разных пунктов произрастания. По мнению П. И. Молоткова и соавт. (Селекция... 1982), южные и

восточные климатипы сосны имеют большую кривоствольность. Понятие «южных и восточных» климатипов довольно широкое, и если связь с широтой объясняется тем, что южные в основном приурочены к регионам с высокой теплообеспеченностью, то в случае с долготой она слабая. В нашем эксперименте большая доля кривых стволов сосны (> 40 %) выявлена как у южных климатипов Европейской части России, так и у некоторых юго-восточных климатипов – долонского из восточной части Казахстана и чемальского из Республики Алтай (рис. 3).

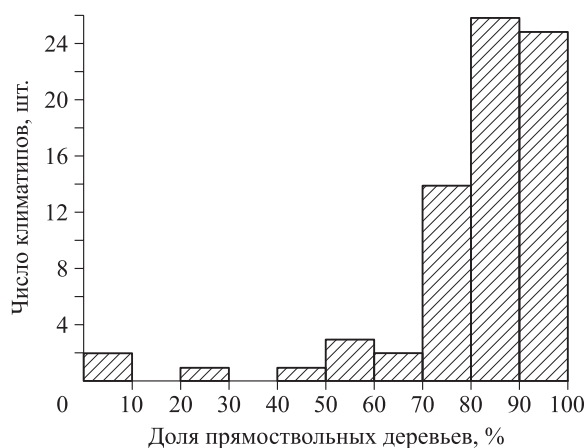
Климатипы, приуроченные к самым восточным регионам ареала сосны в России – свободненский из Амурской области и аянский из Хабаровского края, имеют более высокую прямоствольность (82–83 %). Прямоствольность около 100 % отмечается у представителей Европейского Севера, а также читинского климатипа из Забайкалья.

Сравнительный анализ прямоствольности, проведенный на Европейском Севере (Наквасина и др., 2018) на примере представителей сосны из северной (пинежский климатип), средней (плесецкий) и южной тайги (тотемский), показал



**Рис. 3.** Соотношение прямоствольных (1) и искривленных (2) деревьев у климатипов сосны в географических культурах на участке с песчаной почвой (3 – утраченный климатип).





**Рис. 4.** Распределение значений доли прямоствольных деревьев у климатипов в условиях суглинистой почвы.

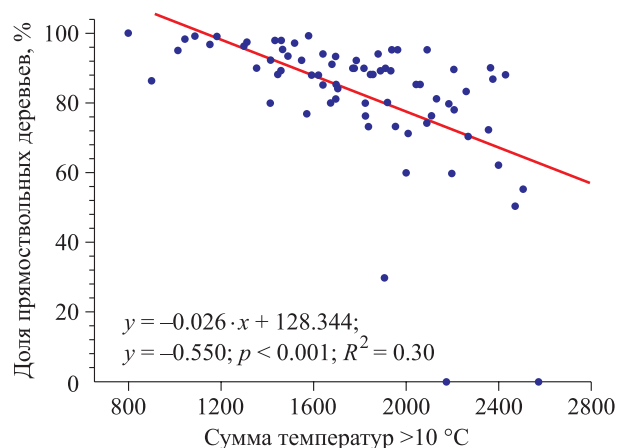
меньшую прямоствольность у южного климатипа, что согласуется с нашими результатами. В географических культурах в Западном Забайкалье (Новикова, 2006) низкое качество стволов, с искривлениями от 14.1 до 19.2 % деревьев, отмечается у климатипов из северных пунктов ареала сосны – северо-енисейского и туруханского. Эти же климатипы в Богучанском лесничестве имеют соответственно 9 и 20 % искривленных деревьев на песчаной почве и 3–5 % на суглинистой.

В условиях суглинистой почвы доля прямоствольных деревьев у климатипов варьирует от 0 до 100 %, среднее значение 83 %, медиана – 88 %. Выражена сильная левосторонняя асимметрия распределения и острый пик (коэффициент асимметрии равен  $-2.80 \pm 0.28$ , коэффициент эксцесса  $9.48 \pm 0.55$ ). Распределение ненормальное (рис. 4).

Коэффициент изменчивости повышенный – 23 %. Большинство климатипов имеет долю прямоствольных деревьев в пределах 80–100 %, менее 70 % прямоствольных сосен имеют 8 климатипов. Доля прямоствольных деревьев у контроля (инвентарный номер 94) 91 %. Значение этого показателя выше только у 33 % сохранившихся климатипов.

В условиях суглинистой почвы, как и на песчаной, проявляются значимые корреляционные связи между долей прямоствольных деревьев и климатическими характеристиками мест происхождения климатипов. Отмечается отрицательная связь с суммой температур  $> 10^\circ\text{C}$  ( $y = -0.026 \cdot x + 128.344$ ;  $r = -0.55$ ;  $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.30$ ;  $n = 74$ ) (рис. 5).

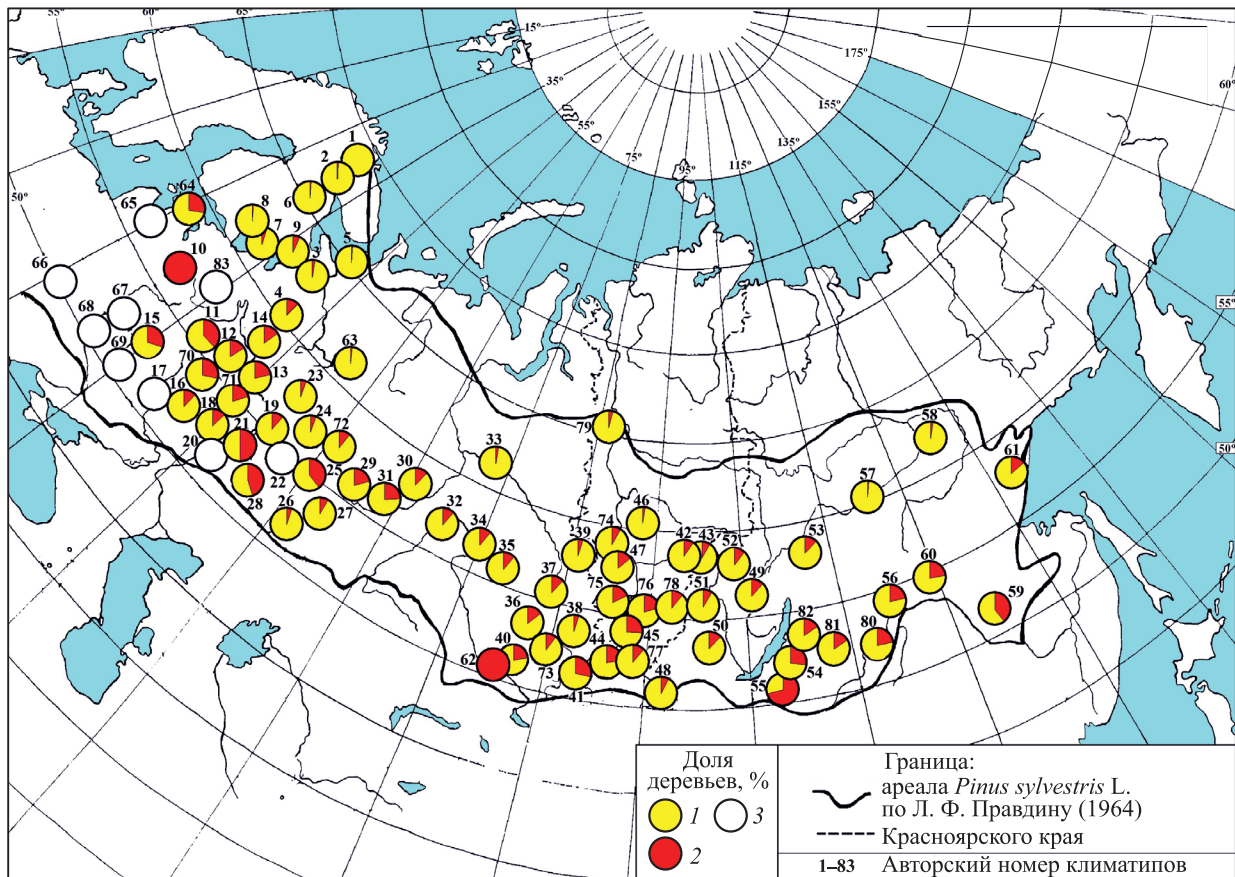
Климатипы из более теплых регионов имеют меньшую долю прямоствольных деревьев в



**Рис. 5.** Регрессионная линейная модель зависимости доли прямоствольных деревьев у климатипов сосны в условиях суглинистой почвы от суммы температур  $> 10^\circ\text{C}$  в пунктах происхождения.

пункте испытания. Полным отсутствием прямоствольных деревьев в условиях суглинистой почвы выделяются потомства долонского климатипа (№ 62) из Казахстана и великолукского (№ 10) из Псковской области. Небольшое количество прямоствольных деревьев (30–62 %) отмечается у кяхтинского климатипа (№ 55) из Бурятии, мелекесского (№ 21) из Ульяновской, бузулукского (№ 28) из Оренбургской, свободненского (№ 59) из Амурской, куровского (№ 11) из Московской областей и дюртюлинского (№ 25) из Башкортостана. Все деревья печенгского климатипа (№ 1) – прямоствольные (рис. 6).

Значимые отрицательные корреляционные связи (по Спирмену) исследуемого показателя отмечаются с массой исходных семян ( $r = -0.61$ ;  $p < 0.001$ ). Характеристика посевных качеств семян, использованных для создания объектов по программе 1972 г., приведена в монографии А. М. Шутяева (2007). Чем меньше масса исходных семян (из которых выращивались географические культуры), тем больше доля прямоствольных деревьев у потомств климатипов в географических культурах. Примерно такие же отрицательные значения коэффициента корреляции отмечаются с суммой температур  $> 10^\circ\text{C}$  ( $r = -0.65$ ;  $p < 0.001$ ), длиной активного вегетационного периода ( $r = -0.56$ ;  $p < 0.001$ ); продолжительностью безморозного периода ( $r = -0.42$ ;  $p < 0.001$ ). Выявлены положительные значимые связи с северной широтой ( $r = 0.70$ ;  $p < 0.001$ ), что подтверждает закономерную изменчивость данного показателя. Чем севернее место происхождения климатипа, тем меньше кривоствольных деревьев у его потомства в географических культурах.



**Рис. 6.** Соотношение прямоствольных (1) и искривленных (2) деревьев у климатотипов сосны в географических культурах на участке с суглинистой почвой (3 – утраченные климатотипы; инвентарные номера см. рис. 3).

Связь с густотой древостоев ( $r = 0.29$ ;  $p < 0.05$ ) в условиях суглинистой почвы менее значительна, чем на песчаной, что объясняется высоким варьированием густоты древостоев, вызванной разной адаптивной реакцией климатотипов к условиям выращивания. Коэффициент изменчивости сохранности деревьев у климатотипов в условиях суглинистой почвы составляет 57 %, а на песчаной почве – 32 %. В целом полученные результаты отражают закономерности, отмеченные на песчаной почве. Результаты исследования используются при отборе перспективных климатотипов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показывают, что процент кривоствольных деревьев у климатотипов сосны в условиях суглинистой почвы в среднем в два раза меньше, чем в условиях песчаной. На суглинистой почве изменчивость доли прямоствольных деревьев существенно ниже, абсолютное большинство климатотипов имеют более 70 % прямоствольных деревьев. Очевидно, что растения в молодом возрасте в условиях сугли-

нистой почвы меньше подвержены стрессовым факторам. В условиях песчаной почвы насаждения западных и южных климатотипов сосны больше подвергались морозобойным повреждениям (Кузьмин, 2012), ветровым нагрузкам, экстремальным засухам и грибным болезням (Кузьмина, Кузьмин, 2009), вызывающим в молодом возрасте замещение центрального побега. Возможно, при достижении 100-летнего возраста и с увеличением объема ствола деревьев, выявленная в молодом возрасте слабая степень кривизны в верхней части деревьев будет менее заметной или не заметной у деревьев некоторых климатотипов, особенно у сосны из Сибири. В связи с этим можно отметить, что объективную оценку прямизны ствола у климатотипов в географических культурах в условиях песчаной почвы необходимо проводить в старшем возрасте, начиная с IV–V класса возраста древостоя.

В географических культурах на песчаной и суглинистой почвах отмечаются разные закономерности в изменчивости исследуемого показателя. В условиях песчаной почвы с увеличением восточной долготы мест происхождения климатотипов выявлено значительное увеличение

доли прямоствольных деревьев. С увеличением северной широты мест происхождений климатипов значимо возрастает доля прямоствольных деревьев на обоих участках, особенно на песчаной почве. Климатипы происхождения из Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока, также как из таежных районов европейской и азиатской частей ареала сосны, в географических культурах имеют небольшое количество искривленных и кривоствольных деревьев.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вересин М. М. Лесное семеноводство. М.: Гослесбумиздат, 1963. 158 с.
- Жуков А. Б., Коротков И. А., Кутафьев В. П. Леса Красноярского края // Леса СССР. М.: Наука, 1969. Т. 4. С. 248–320.
- Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / Под ред. Е. П. Проказина. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
- Коротков И. А. Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В. А. Алексеева, Р. А. Бердси. Красноярск: Экос, 1994. С. 29–47.
- Кузьмин С. Р. Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве // Хвойные бореал. зоны. 2012. Т. 30. № 1–2. С. 106–110.
- Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р. Устойчивость сосны обыкновенной разного происхождения к грибным патогенам в географических культурах Приангарья // Хвойные бореал. зоны. 2007. Т. 24. № 4–5. С. 454–460.
- 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.
- Мелехов В. И., Корчагов С. А., Бабич Н. А. Комплексная оценка качества древесины хвойных пород в культурах. Архангельск: САФУ, 2013. 130 с.
- Наквасина Е. Н., Прожерина Н. А., Чупров А. В., Беляев В. В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // ИВУЗ. Лесн. журн. 2018. № 5. С. 82–93.
- Наумова Н. Б., Макарикова Р. П., Тараканов В. В., Кузьмина Н. А., Новикова Т. Н., Милютин Л. И. Влияние климатипов сосны обыкновенной на некоторые химические и микробиологические свойства почв // Сиб. экол. журн. 2009. Т. 16. № 2. С. 287–292.
- Николаева М. А., Жигунов А. В., Голиков А. М. 36-летний опыт изучения географических культур сосны обыкновенной в Псковской области // ИВУЗ. Лесн. журн. 2016. № 5 (353). С. 22–33.
- Новикова Т. Н. Качество ствола у географических потомств сосны обыкновенной в условиях Западного Забайкалья // Лесн. хоз-во. 2006. № 6. С. 42–43.
- Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
- Селекция лесных пород / П. И. Молотков, И. Н. Патлай, Н. И. Давыдова и др. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 224 с.
- Справочник по климату СССР. М.: Гидрометеиздат, 1964–1969.
- Тараканов В. В., Демиденко В. П., Ишутин Я. Н., Бушков Н. Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 230 с.
- Фомин Ф. И. Опыт районирования семенного хозяйства обыкновенной сосны на основе изучения ее климатических экотипов // Исследования по лесосеменному делу: Сб. тр. ЦНИИЛХ. Л.: Гослестехиздат, 1940. С. 3–106.
- Черепнин В. Л. Изменчивость семян сосны обыкновенной. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 181 с.
- Шавнин С. А., Овчинников И. С., Монтиле А. А., Голиков Д. Ю. Оценка формы ствола и кроны сосны обыкновенной по комплексу морфологических признаков // Лесоведение. 2019. № 1. С. 64–74.
- Шутяев А. М. Изменчивость хвойных видов в испытательных культурах Центрального Черноземья. М.: ВНИИЛМ, 2007. 296 с.
- Kuzmina N. A., Kuzmin S. R. Intraspecific response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to pathogens in a provenance trial in Middle Siberia // Euras. J. For. Res. 2008. V. 11. Iss. 2. P. 51–59.
- Naumova N. B., Makarikova R. P., Tarakanov V. V., Kuz'mina N. A., Novikova T. N., Milyutin L. I. Influence of climatypes of Scots pine on certain chemical and microbiological characteristics of soils // Contemp. Probl. Ecol. 2009. V. 2. N. 2. P. 147–151 (Original Rus. Text © N. B. Naumova, R. P. Makarikova, V. V. Tarakanov, N. A. Kuz'mina, T. N. Novikova, L. I. Milyutin, 2009, publ. in Sib. Ekol. Zhurn. 2009. V. 16. N. 2. P. 287–292).
- Prescher F., Ståhl E. G. The effect of provenance and spacing on stem straightness and number of spike knots of Scots pine in south and central Sweden // Stud. For. Suec. 1986. N. 172. 12 p.
- Shutyayev A. M., Giertych M. Genetic subdivisions of the range of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) based on a transcontinental provenance experiment // Silvae Genet. 2000. V. 49. N. 3. P. 137–151.



## PROPORTION OF STRAIGHT-STEMMED TREES OF SCOTS PINE CLIMATYPES IN THE PROVENANCE TRIAL IN SIBERIA

S. R. Kuzmin, N. A. Kuzmina

*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: kuz@ksc.krasn.ru, skr\_7@mail.ru

The analysis of crooked trees proportion of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) climatypes was conducted in the provenance trial of Boguchansky forestry district with different soil conditions in the southern taiga of Krasnoyarsk Krai. Averagely, the results of the study showed significantly lower proportion of crooked pine trees in conditions of loam soil, than in conditions of sandy soil. The plantations of western and southern pine climatypes are exposed to different stress factors in conditions of sandy soil. As a result, in young age trees had contortion of stem, including replacement of central shoot. The southern climatypes from forest-steppe territories are differ with high proportion of crooked trees on sandy and loam soils. There are differences in regularities of stem shape variability in the different soil conditions. The significant proportion increase of trees with straight stem was revealed with eastern longitude of origin place increasing in conditions of sandy soil. Mainly, the climatypes from eastern regions of Russia (Siberia, Zabaikalie, Far East) have small percentage (0–20 %) of crooked trees in the provenance trial of Boguchany forestry. The more northerner latitude of climatypes origin places is – the more proportion of trees with straight stems on experimental plots with different soil condition is. The posterities of Scots pine from northern, middle and southern taiga, from European and Asian parts of species range, have small percentage of crooked trees.

**Keywords:** *Scots pine, provenance, stem straightness, crookedness of trees, seed transfer.*

**How to cite:** Kuzmin S. R., Kuzmina N. A. Proportion of straight-stemmed trees of Scots pine climatypes in the provenance trial in Siberia // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 17–24 (in Russian with English abstract and references).

УДК 543.421/.424+632.03

## ИНФРАКРАСНАЯ ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ БИОТИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

С. Р. Лоскутов, Л. К. Казарян, Е. А. Тютюкова

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

E-mail: lsr@ksc.krasn.ru, kazaryan.lk@ksc.krasn.ru, katewood@inbox.ru

*Поступила в редакцию 15.07.2024 г.*

Глобальное изменение климата, техногенное загрязнение, развитие эпифитотий и массовое размножение насекомых-вредителей являются причиной возникновения фитопатологического состояния насаждений видов древесных. Пониманию механизмов развития патологии элементов строения дерева (в частности, листьев) способствует молекулярно-аналитический подход в исследовании тестируемого органа растения, реализованный нами на примере сравнительного исследования здоровой и поврежденной хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из пригородных насаждений с помощью ИК Фурье-спектроскопии. В основу анализа ИК-спектров здоровой и поврежденной хвои положен метод сравнения отношений интенсивности полос поглощения на характеристических (для связей, функциональных групп, типа их колебаний) частотах. Отнесение полос поглощения осуществлено по литературным данным. С целью сравнения поврежденных образцов хвои с контролем рассчитаны отношение интенсивности полос поглощения для  $I_{1375/2900}$ ,  $I_{1695/1647}$ ,  $I_{1506/898}$ ,  $I_{1564/1550}$ ,  $I_{1695/1533}$ ,  $I_{1447/1369}$ ,  $I_{1654/1730}$ ,  $I_{1728/1477}$ ,  $I_{2920/1600}$ ,  $I_{3040/1600}$ ,  $I_{3040/1508}$ ,  $I_{1512/894}$  (подстрочные индексы указывают для каких волновых чисел рассчитывались отношения интенсивности поглощения). Анализ массива ИК-спектров хвои по этому методу показал качественные и количественные отличия молекулярно-структурных показателей здоровой и поврежденной хвои (с усыханием кончиков и с пятнистым хлорозом).

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L., пригородные насаждения, хвоя, повреждения, ИК Фурье-спектроскопия.

DOI: 10.15372/SJFS20240604

### ВВЕДЕНИЕ

Важная информация об изменении биохимического статуса хвои на молекулярном уровне может быть получена из анализа параметров спектров поглощения исследуемыми образцами в ИК-диапазоне. Инфракрасная спектроскопия является очень полезным инструментом для быстрого получения информации о структуре компонентов хвои и химических изменениях, происходящих в ней в результате различного техногенного/биотического воздействия. Этот метод имеет преимущество перед обычными химическими методами, которые отнимают много времени, а также приводят к сопутствующему разрушению природных полимеров, нежелательному образованию новых продуктов и т. п.

К настоящему времени накопилось очень большое количество публикаций по инфракрасной Фурье-спектроскопии (ИКФС) биологиче-

ских объектов, в которых приводится отнесение характеристических частот (полос) поглощения в ИК-спектре к тем или иным структурным элементам (например, колебаниям циклических структур, функциональных групп, химических связей и др.) (Popescu et al., 2007; Rana et al., 2008; Tinti et al., 2015).

Вместе с тем не удалось найти российских и зарубежных публикаций по ИКФС поврежденной и усыхающей хвои для сосновых насаждений вблизи крупных промышленных центров.

Целью нашей работы было исследование хвои с признаками усыхания и пятнистого хлороза с помощью ИКФС по предлагаемым нами методам разностных ИК-спектров и сравнительного анализа отношений интенсивности для пар частот (волновых чисел), характеризующих изменение (или постоянство) ряда молекулярно-структурных показателей поврежденной хвои по сравнению со здоровой.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Образцы хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) были собраны в пригородных сосновых фитоценозах г. Красноярска, длительное время подвергавшихся техногенным и рекреационным нагрузкам, в частности воздействию фитопатогенных грибов и насекомых.

Изучали хвою 2–3-го года жизни с наиболее часто встречающимися признаками повреждения у взрослых деревьев – пятнистым хлорозом и усыханием (брали хвою с усыханием 1/10–2/3 от длины хвоинки). Хвою с признаками пятнистого хлороза (ПХ) и усыхания (УХ) сравнивали со здоровой хвоей (ЗД) (рис. 1).

Образцы для исследования заготавливали в начале августа 2022 г. в сосняках VI класса возраста, располагающихся северо-восточнее г. Красноярска в направлении основного переноса промышленных выбросов города.

Хвою трех видов без видимых повреждений, с желтыми пятнами и с усыхающими кончиками (рис. 1) отбирали преимущественно с мужских побегов с деревьев сосны обыкновенной, растущих по краям опушек. Хвоя держалась на побегах 5–6 лет. Отмечено присутствие на хвое пауков, а также насекомых – тли, хермеса и др.

Средний образец соответствующих видов хвои готовили по методу квартования (Оболенская и др., 1991). Для исследования были подготовлены образцы воздушно-сухой измельченной хвои фракция 0.1–0.3 мм. ИКФС проводили с помощью спектрометра Vertex 80V (Bruker, Германия) в диапазоне 4000–400 см<sup>-1</sup>: спектральное разрешение показаний не более 2 см<sup>-1</sup>, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений по шкале волновых чисел  $\pm 0.5$  см<sup>-1</sup>, при регистрации спектров поглощения время накопления 5 с, максимальная скорость сканирования 200 мм/с. Для снятия

спектров использовали тонкие таблетки бромида калия с запрессованными в них экспериментальными образцами: 1–2 мг образца растирали в ступке с ~100 мг KBr, измельченный материал помещали в пресс-форму, эвакуировали воздух, прессовали при 75 кН × см<sup>-2</sup>. Обработку спектров осуществляли с помощью пакета программ OPUS.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 показаны ИК Фурье-спектры здоровой и поврежденной хвои сосны, а в таблице представлено отнесение частот поглощения.

Характеристические частоты в ИК-диапазоне (см<sup>-1</sup>), для которых рассчитаны отношения интенсивности поглощения и определены значения интенсивности поглощения контрольным и экспериментальными образцами хвои, представлены в таблице (Методы..., 2002; Popescu et al., 2006; Тарасевич, 2012; Báder et al., 2020).

В случаях, как на рис. 2, часто проводится анализ разностных спектров (контроль, минус измененный), а также сравнение отношений интенсивности поглощения на характеристических частотах, изменение интенсивности соответствующих полос экспериментальных образцов по сравнению с интенсивностью полос контрольного образца (в %) и т. п. Так, на рис. 3 показаны разностные спектры, полученные после нормировки исходных при 1506 см<sup>-1</sup>.

Значения 2 и 3 на рис. 3 больше нуля отвечают уменьшению интенсивности поглощения; значения меньше нуля свидетельствуют об увеличении интенсивности соответствующих полос по сравнению с контролем. Детальная количественная оценка спектральных показателей, выраженных в процентах относительно контроля, показана на рис. 4.

По данным таблицы и рис. 4 можно охарактеризовать изменения, произошедшие в повреж-

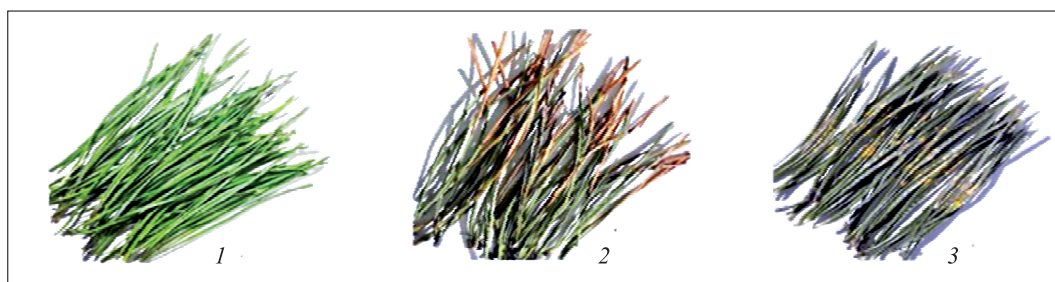
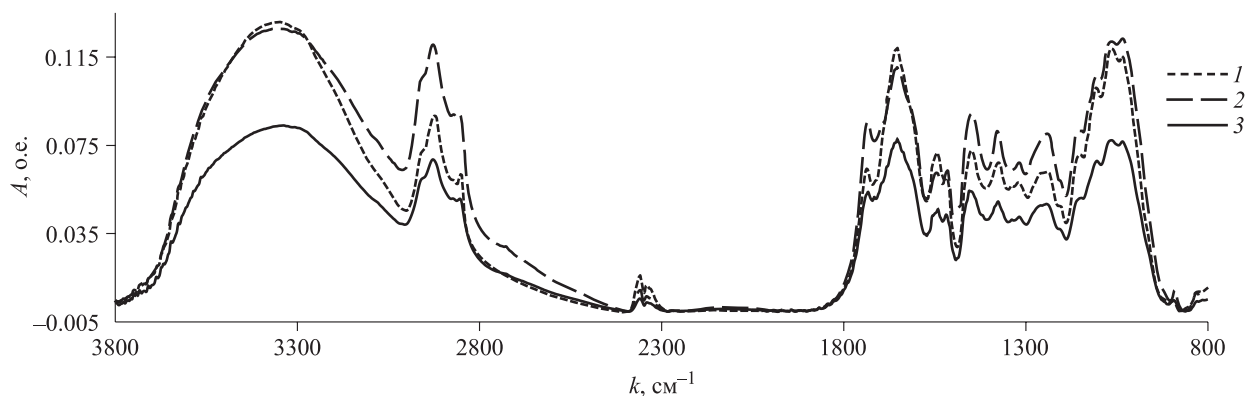


Рис. 1. Образцы хвои сосны обыкновенной.  
1 – контроль (ЗД); 2 – УХ; 3 – ПХ.





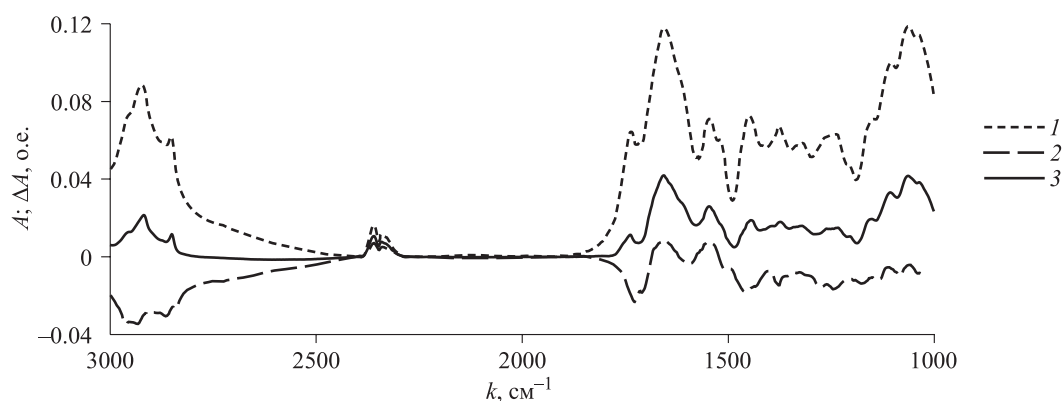
**Рис. 2.** ИК спектры хвои сосны из пригородных и городских насаждений.

1 – контроль (ЗД); 2 – УХ; 3 – ПХ.

Характеристические частоты в ИК-диапазоне ( $k$ ) с рассчитанными отношениями интенсивности поглощения и определенными значениями интенсивности поглощения контрольным и экспериментальными образцами хвои

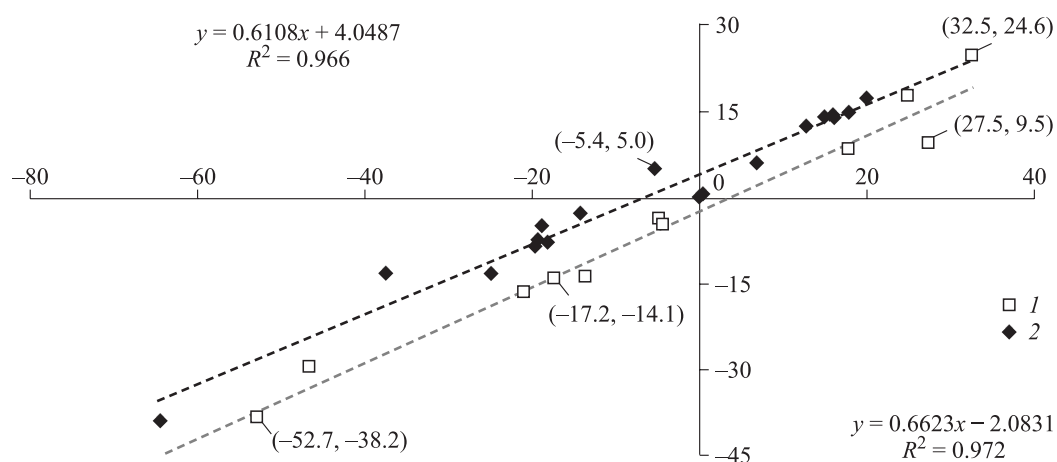
| $k, \text{см}^{-1}$ | Отнесение полос                                                                                 |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3040                | C–H-валентные колебания, ароматические углеводороды                                             |
| 2920                | Валентные ассиметричные колебания $\text{CH}_2$ в алифатических структурах                      |
| 2865                | Водородные связи между глюкопиранозными кольцами, образованные кислородными атомами             |
| 2700                | Характеристическая полоса карбоксильной группы, полоса валентных колебаний O–H                  |
| 1730                | C=O-растяжение в неконъюгированных кетонах                                                      |
| 1728                | То же                                                                                           |
| 1695                | Амид I, $\beta$ -структура протеинов                                                            |
| 1654                | Адсорбированная вода на целлюлозе и лигнине                                                     |
| 1647                | Вода, связанная с лигнином или целлюлозой                                                       |
| 1630                | То же                                                                                           |
| 1600                | Скелетные колебания сирингильных единиц C=O, растяжение                                         |
| 1564                | Амид II, $\beta$ -структуры протеинов                                                           |
| 1550                | Амид II, $\alpha$ -структуры протеинов                                                          |
| 1533                | Амид II, $\beta$ -структуры протеинов                                                           |
| 1520                | Амид II, $\alpha$ -структуры протеинов                                                          |
| 1512                | Скелетные колебания ароматического кольца лигнина                                               |
| 1508                | Скелетные колебания ароматического кольца лигнина                                               |
| 1506                | Растяжение C=C-связей ароматического кольца                                                     |
| 1477                | C–H-ассиметричные деформационные колебания в $-\text{OCH}_3$ , $\text{CH}_2$ в пирановом кольце |
| 1475                | То же                                                                                           |
| 1447                | Колебания $\text{CH}_2$ -групп в жирных кислотах                                                |
| 1369                | C–H-деформационные колебания в целлюлозе и гемицеллюлозах                                       |
| 1274                | Деформация C–H в целлюлозе I и целлюлозе II                                                     |
| 1186                | Асимметричное растяжение C–O–C в целлюлозе I и целлюлозе II                                     |
| 1178                | Колебаниям карбоксильных групп                                                                  |
| 898                 | Растяжение глюкозного кольца, C–H-деформационные колебания                                      |
| 894                 | То же                                                                                           |

*Примечание.* Отнесение полос поглощения осуществлено по литературным данным (см. выше).  $k$  – волновое число; отношение интенсивности полос поглощения с целью сравнения поврежденных образцов хвои с контролем рассчитаны для  $I_{1375/2900}$ ,  $I_{1695/1647}$ ,  $I_{1506/898}$ ,  $I_{1564/1550}$ ,  $I_{1695/1533}$ ,  $I_{1447/1369}$ ,  $I_{1654/1730}$ ,  $I_{1728/1477}$ ,  $I_{2920/1600}$ ,  $I_{3040/1600}$ ,  $I_{3040/1508}$ ,  $I_{1512/894}$  (рис. 4).



**Рис. 3.** Разностные ИК-спектры: здоровая хвоя минус поврежденная.

Спектр: 1 – контроль, 2 – разностный (контроль – УХ); 3 – контроль – ПХ.



**Рис. 4.** Связь между изменением отношений интенсивности  $I_{ij}$ , (в % от контроля) усыхающей хвои и хвои с желтыми пятнами (1) и между изменением интенсивности соответствующих полос поглощения  $k_i$  (в % от контроля) усыхающей хвоей и хвоей с желтыми пятнами (2). Отнесение полос поглощения осуществлено по литературным данным (см. выше).

денной хвое по сравнению со здоровой. В качестве примера для некоторых частот (волновых чисел) приводится ряд заключений об изменениях в поврежденной хвое на молекулярном уровне.

Так, для обоих типов повреждений характерно увеличение массовой доли целлюлозы (I, II) и пиранов (антиоксидантов, выполняющих защитную функцию), о чем свидетельствует увеличение интенсивности полос  $1186\text{ см}^{-1}$  (на 19.2 и 7.4 %) и  $1475\text{ см}^{-1}$  (на 18.1 и 7.6 %).

Уменьшение интенсивности полос  $1563\text{--}1654\text{ см}^{-1}$  ряда частот (на 16.2–14.0 %) и  $1695\text{ см}^{-1}$  (на 0.5–0.6 %) указывает на изменения протеинового пула с преобладанием в нем  $\beta$ -структур. Об уменьшении связанной воды целлюлозой и лигнином свидетельствует уменьшение интенсивности полосы  $1630\text{ см}^{-1}$  (на 12.9 и 12.4 %).

Интенсивность полосы  $1506\text{ см}^{-1}$ , отвечающей растяжению  $\text{C}=\text{C}$ -связей ароматического кольца, не изменилась.

Более подробную информацию о молекулярно-структурных изменениях в поврежденной хвое дает сопряженный анализ спектров здоровой и поглощения биологическими объектами (в частности, лигноцеллюлозными материалами) поврежденной хвои с имеющимися в литературе обширными данными по характеристическим частотам

Так, увеличение  $I_{1512/894}$  на 52.5 % для УХ и на 38.2 % для ПХ свидетельствует о заметном росте в химическом составе массовой доли ароматических соединений. Повышенное значение  $I_{1447/1369}$  (на 13.9 % для обоих видов повреждения) указывает на увеличение синтеза жирных кислот. При этом уменьшается количество адсорбированной лигнином и целлюлозой воды на 32.5 и 24.6 % в УХ и ПХ соответственно.

Описанным способом можно провести совместный анализ координат всех точек графиков рис. 4 и данных таблицы об отнесении полос поглощения образцами хвои и получить весьма

детальную характеристику повреждения хвои на молекулярном уровне.

Координаты точек (1) указывают на изменение отношения интенсивности (в % от контроля, см. таблицу) усыхающей хвои (X-координата) и хвои с желтыми пятнами (Y-координата). Координаты точек (2) указывают на изменение интенсивности (в % от контроля, см. таблицу) усыхающей хвои (X-координата) и хвои с желтыми пятнами (Y-координата). Таким образом, по графикам рис. 4 можно быстро и наглядно определять характер молекулярно-структурных изменений в образцах хвои усыхающей и с желтыми пятнами, в зависимости от того, в каком квадранте располагается точка и каким частотам отвечает. В качестве примера рассмотрим координаты нескольких точек на представленных графиках рис. 4:

– (32.5, 24.6) – отражает уменьшение связанной воды;

– (27.5, 9.5) – отражает уменьшение алифатических соединений и ароматического комплекса веществ (полифенолов и/или лигнина);

– (–17.2, –14.1) – отражает увеличение (преобладание)  $\beta$ -структур протеинов над  $\alpha$ -структурами;

– (–5.4, 5.0) – отражает увеличение доли гемицеллюлоз и целлюлозы в усыхающей хвое и уменьшение доли этих компонентов в хвое с желтыми пятнами;

– (–52.7, –38.2) – отражает увеличение лигнина и других ароматических соединений.

Обращает на себя внимание линейность графиков (1) и (2) с высокими коэффициентами детерминации как для усыхающей хвои, так и для хвои с желтыми пятнами.

Объяснением этого феномена может быть, по-видимому, «универсальная» биохимическая реакция живой хвои на внешнее воздействие на ранних стадиях реакции хвои, «независимо» от природы действующего фактора – техногенного или биотического, по крайней мере, в данном случае.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя изложенное выше, отметим, что повреждения обоих типов вызывают преобразование биохимического статуса хвои, связанное

с изменением соотношения массовых долей полимеров лигноуглеводной матрицы, появлением новых тенденций в обмене липидов, полифенолов; изменением состояния связанной воды и конверсией протеинового пула.

Полученные в результате исследования новые данные свидетельствуют о широких возможностях метода ИКФС для определения тенденций в изменении биохимического статуса хвои на ранней стадии развития её повреждений, что является важным показателем практической значимости, экологической актуальности и перспективности проведенного исследования.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ СО РАН FWES-2024-0028.*

*Авторы выражают благодарность кандидату биологических наук старшему научному сотруднику ИЛ СО РАН В. В. Астраханцевой за предоставленные образцы хвои*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Методы исследования древесины и ее производных:* Учеб. пособ. / Под ред. Н. Г. Базарновой. Барнаул: Алтай. гос. ун-т, 2002. 160 с.
- Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
- Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений: Справ. материалы. М.: МГУ, 2012. 54 с.
- Báder M., Németh R., Sandak J., Sandak A. FTIR analysis of chemical changes in wood induced by steaming and longitudinal compression // *Cellulose*. 2020. V. 27. Iss. 3. P. 6811–6829.
- Popescu C. M., Popescu M. C., Vasile C., Singurel G. Degradation of lime wood painting supports ii. Spectral characterisation // *Cellulose Chem. Technol.* 2006. V. 40. N. 8. P. 649–658.
- Popescu C. M., Popescu M. C., Singurel G., Vasile C., Argypoulou D. S., Willfor S. Spectral characterization of eucalyptus wood // *Appl. Spectroscopy*. 2007. V. 61. N. 11. P. 1168–1177.
- Rana R., Müller G., Naumann A., Polle A. FTIR spectroscopy in combination with principal component analysis or cluster analysis as a tool to distinguish beech (*Fagus sylvatica* L.) trees grown at different sites // *Holzforschung*. 2008. V. 62. Iss. 5. P. 530–538.
- Tinti A., Tugnoli V., Onora S., Francioso O. Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR) spectroscopy for studying soil components: a review // *J. Central Europ. Agr.* 2015. V. 16. Iss. 1. P. 1–22.



## INFRARED FOURIER SPECTROSCOPY OF BIOTIC DAMAGE TO SCOTS PINE NEEDLES

S. R. Loskutov, L. K. Kazaryan, E. A. Tyutkova

*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: lsr@ksc.krasn.ru, kazaryan.lk@ksc.krasn.ru, katewood@inbox.ru

Global climate change, anthropogenic pollution, the development of epiphytotics and the mass reproduction of insect pests are the cause of the phytopathological state of tree species stands. To the understanding of the pathology mechanisms development of the tree's structural elements (in particular, needles) will be promote analytical approach to the study of the tested plant organ. The study approach was implemented by us using the example of a comparative study of healthy and damaged Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles from suburban stands using infrared Fourier spectroscopy. The analysis of the IR spectra of healthy and damaged needles is based on a method for comparing the intensity ratios of absorption bands at characteristic frequencies (for bonds, functional groups, and the type of their oscillations). The assignment of absorption bands was carried out according to the literature data. In order to compare damaged samples of needles with the control, the absorption band intensity ratio was calculated for  $I_{1375/2900}$ ,  $I_{1695/1647}$ ,  $I_{1506/898}$ ,  $I_{1564/1550}$ ,  $I_{1695/1533}$ ,  $I_{1447/1369}$ ,  $I_{1654/1730}$ ,  $I_{1728/1477}$ ,  $I_{2920/1600}$ ,  $I_{3040/1600}$ ,  $I_{3040/1508}$ ,  $I_{1512/894}$  (subscripts indicate for which wave numbers the absorption intensity ratios were calculated). The analysis of the IR spectra needles array using this method showed what changes (qualitatively and quantitatively) at the level of molecular and structural parameters are characterized by shrinking and diseased needles compared with healthy ones.

**Keywords:** *Pinus sylvestris* L., suburban stands, needles, damage, infrared Fourier spectroscopy.

**How to cite:** Loskutov S. R., Kazaryan L. K., Tyutkova E. A. Infrared Fourier spectroscopy of biotic damage to Scots pine needles // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 25–30 (in Russian with English abstract and references).

УДК 581.92:582.4+574.9

## ДЕНДРОФЛОРА КУЗБАССА

С. А. Шереметова<sup>1,2</sup>, Е. Б. Роткина<sup>2</sup>, М. С. Ракина<sup>2</sup>, С. Н. Витязь<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кузбасский ботанический сад, Институт экологии человека  
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН  
650065, Кемерово, просп. Ленинградский, 10

<sup>2</sup> Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецовца  
650056, Кемерово, ул. Марковцева, 5

E-mail: ssheremetova@rambler.ru, k.rot@mail.ru, ra\_machka@mail.ru, svetlana\_vityaz@mail.ru

Поступила в редакцию 21.08.2024 г.

Представлено распределение древесных растений Кузбасса согласно схеме его флористического районирования. Отмечены характерные особенности лесных сообществ для каждого флористического района. Установлено, что дендрофлора региона включает 173 вида из 69 родов и 29 семейств и на 94.8 % состоит из цветковых растений, на долю голосеменных приходится 5.2 %. Выделены крупнейшие семейства древесных растений Кемеровской области: розоцветные (Rosaceae), ивовые (Salicaceae), вересковые (Ericaceae), березовые (Betulaceae), крыжовниковые (Grossulariaceae), яснотковые (Lamiaceae) и роды ива (*Salix* L.) и тополь (*Populus* L.). Показано, что первое место по количеству аборигенных и заносных видов занимает самый густозаселенный район – Кузнецкая котловина. На втором месте по числу видов находится Кузнецко-Алатусский флористический район с минимальным участием заносных видов. Всего во флоре Кузбасса отмечено 56 чужеродных древесных растений, из них 19 адвентов, 3 из которых встречаются во всех флористических районах. Из 37 культивируемых видов 12 встречаются во всех флористических районах, 10 видов древесных растений включены в «Красную книгу Кузбасса» (2021). Для узкого эндемика Кузбасса – змееголовника Крылова (*Dracosephalum krylovii* Lipsky) – предложено изменение категории редкости с 2 на 1. Отмечено 6 видов, включенных в «Черную книгу флоры Сибири» (2016) с указанием статусов инвазивности каждого. Для вяза гладкого (*Ulmus laevis* Pall.) предложено установить 4-й статус инвазивности и включить в список облепиху крушиновидную (*Hippophae rhamnoides* L.) со статусом 4. Согласно общепринятым классификациям жизненных форм установлено, что в составе дендрофлоры Кузбасса преобладают летне-зеленые кустарники и фанерофиты.

**Ключевые слова:** древесные растения, таксономическое разнообразие, жизненные формы, флористические районы, адвентивные, инвазивные, редкие, чужеродные виды, Кемеровская область.

DOI: 10.15372/SJFS20240605

### ВВЕДЕНИЕ

История исследований флоры Кузбасса насчитывает более 300 лет (с первой половины XVIII в.), за этот период были накоплены солидные материалы по видовому разнообразию региона. Первая сводка, посвященная сосудистым растениям Кемеровской области, была издана 2001 г. (Определитель..., 2001). К этому времени были созданы гербарные коллекции в Кемеровском государственном университете (КЕМ – КемГУ, г. Кемерово), а также в филиале

КемГУ в г. Новокузнецке (бывшая Кузбасская государственная педагогическая академия). За пределами Кузбасса наиболее крупные сборы по области были сосредоточены в гербариях Томского университета (ТК) и Центрального сибирского ботанического сада (НС, NSK). С начала XXI в. активную работу по Кузбассу начали сотрудники Кузбасского ботанического сада Института экологии человека Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН (КузБС). К настоящему времени сформирован крупнейший (по представленности видов Кеме-

ровской области) Гербарий (KUZ), на базе которого была создана интегрированная информационная система «Цифровой гербарий Кузбасса», что позволило актуализировать данные по биоразнообразию флоры высших растений Кузбасса и издать коллективную монографию «Флора Кемеровской области» (2023).

Многие ботаники, проводившие исследования на территории области, затрагивали вопросы, касающиеся древесных растений, но только некоторые из них посвящали свои работы именно лесным сообществам: липовым лесам – П. Н. Крылов (1891); В. И. Грубов (1940) и Л. Б. Колокольников (1941); В. И. Баранов и М. Н. Смирнов опубликовали труд «Пихтовая тайга на предгорьях Алтая» (1931); Ю. П. Хлонов (1970, 1973, 1979) исследовал закономерности распространения древесно-кустарниковых растений по территории юго-востока Западной Сибири, и в частности Кемеровской области; вопросами лесной рекультивации в Кузбассе занимался Л. П. Баранник (1992). Большую роль в изучении лесных экосистем сыграли геоботаники Томского университета, Центрального ботанического сада СО РАН и др. Подробнейшие очерки по истории флористических исследований в Кемеровской области, приведены в работах А. В. Куминовой (1950), И. М. Красноборова (2006), А. Л. Эбеля (2012), С. А. Шереметовой и Р. Т. Шереметова (2020). В монографии «Флора Кемеровской области» (2023) дано не только подробное описание истории ботанических исследований, но и приведена полная библиография всех известных к настоящему времени ботанических работ.

Роль древесных растений в Кузбассе невозможно переоценить. Несмотря на относительно небольшое видовое участие в количественном отношении в составе флоры, лесные сообщества занимают огромные пространства, по разным подсчетам, от 80 до 90 % от всей площади региона. Именно на территории области, большая часть которой относится к горным районам Южной Сибири, представлены черневые леса, располагающиеся на высотах от 350 до 900 м. Интересны также осиновые леса, которые в комплексе с осиново-пихтовой чернью по своему живому напочвенному покрову, типам и плодородию почв схожи с широколиственными лесами (Лашинский, 2009; Петров, 2019). Из широколиственных лесов здесь встречаются небольшие реликтовые липовые рощи из липы сибирской (*Tilia sibirica* Fisch. ex Bayer.), которые сохранились в Горной Шории, Кузнецком

Алатау и на Салаирском кряже. Также древесные виды широко используются для озеленения населенных пунктов и организации защитных лесополос.

Территория Кузбасса относится к регионам интенсивного освоения и отличается от других субъектов Азиатской части России самой высокой плотностью населения, что определяет существенное антропогенное влияние на растительный покров. На урбанизированных территориях активно идут процессы натурализации чужеродных видов. В частности, в защитном лесоразведении нередко преобладают виды-интродуценты. Но наиболее широко интродукция используется для обогащения ассортимента культивируемых декоративных растений. В садово-парковом и ландшафтном строительстве, любительском декоративном садоводстве интродуценты по своей численности и широте использования явно превосходят аборигенные виды. Зачастую многие натурализовавшиеся виды с увеличением антропогенного пресса на растительные сообщества начинают вытеснять аборигенные виды и занимать ключевые экологические ниши в природных сообществах, содействуя дальнейшей их деградации (Виноградова и др., 2009; Черная книга..., 2016).

Цель настоящей работы – изучить таксономическое и биологическое разнообразие деревьев и кустарников, произрастающих на территории Кемеровской области.

К настоящему времени имеются работы, посвященные дендрофлоре г. Кемерово (Лазарев, Куприянов, 2011; Куприянов, Лазарев, 2011; 2012; Петункина, 2015) либо отдельным семействам или родам древесных растений Кемеровской области (Климов, 2001, 2006; Шереметова и др., 2022), но для области в целом работ, посвященных флоре древесных растений, к настоящему времени не было. В данной статье впервые проведен анализ аборигенных и чужеродных видов древесных растений не только для всей области, но и для отдельных флористических районов Кузбасса, особое внимание уделено древесным инвазивным видам.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалами для данной работы послужили фонды Гербария Кузбасского ботанического сада (KUZ), сформированные благодаря планомерным экспедиционным исследованиям, проводимыми традиционными маршрутными способами

ми на территории области с 2001 г. На основании всех полученных данных создан веб-интерфейс атласа флоры сосудистых растений Кемеровской области в виде отдельного портала на платформе «Цифрового гербария МГУ» (2024), а также массив региональных данных, полученных в Кузбассе опубликован на международной платформе-агрегаторе GBIF (2024). Гербарный материал определялся с привлечением современных определителей (Определитель..., 2001; Флора..., 1987–2003). Названия растений выверены согласно базе данных IPNI (2024). В работе использованы методы флористического анализа: таксономический и анализ жизненных форм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кузбасс расположен на границе двух флористических провинций: Западно-Сибирской и Алтае-Саянской, что определяет гетерогенность и относительное флористическое богатство его флоры. Растительный покров несет на себе черты как широтной, так и вертикальной зональности. Для территории Кемеровской области разработана схема флористического районирования (Шереметова, 2019) (см. рисунок), которая включает шесть районов с характерными особенностями лесных сообществ.

1. *Колывань-Томский* флористический район – это Колывань-Томская возвышенность, которая на северо-западе обрамляет Алатауско-Шорское нагорье и Кузнецкую котловину. Район занимает северо-западную часть Кемеровской области и имеет переходное положение: на востоке граничит с Западно-Сибирской равниной, на юге – с Кузнецкой котловиной, на юго-западе – с северными отрогами Кузнецкого Алатау. Растительный покров западной части района несет черты северной лесостепи, где среди лесных сообществ преобладают березовые и березово-осиновые леса. Определенную роль в сложении растительного покрова играют также сосновые и сосново-березовые леса (в особенности по берегам р. Томь и в бассейне р. Сосновка). Для северной части района характерно постепенное снижение роли мелколиственных лесов (березовых, березово-осиновых) и увеличение площадей, занятых хвойными лесами (с участием ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), с. обыкновенной (*P. sylvestris* L.)).

Это связано с тем, что на данной территории представлена древняя долинно-балочная

сеть, которая благодаря влажности климата обводнена и в настоящее время (Вдовин, 1988), что определяет большее участие в сложении растительного покрова еловых, елово-кедровых и кедровых лесов по долинам рек, часто на заболоченных почвах.

2. *Кия-Чулымский* район находится на юго-западе Чулымо-Енисейской физико-географической провинции согласно схеме основных орографических элементов. В северной части района преобладают лесные сообщества, которые представлены березово-осиновыми лесами, также имеются массивы с примесью сосны обыкновенной и елово-пихтово-кедровые таежные участки, по заболоченным поймам рек произрастают еловые леса. В поймах рек (Антибес, Кия, Яя и др.) представлены довольно крупными массивами болотные сообщества. Южная часть района относится к северо-западному крылу Назаровской котловины Назаровско-Минусинской межгорной впадины Алтае-Саянской горной области, что определяет некоторые специфические особенности во флористическом отношении, а именно – сохранение уникальных рефугиумов степной растительности и развитие мощных болотных комплексов залесенных болот и мелколесий с участием хорошо выраженного низкорослого древесного яруса из сосны обыкновенной, нередко с незначительной примесью кедра сибирского.

3. Флористический район *Кузнецкая котловина* расположен в центральной части Кемеровской области. Здесь преобладают лесостепные ландшафты. Лесостепь, климатически зональная на территории Кузбасса, имеет свое типичное выражение только в данном районе (Куминова, 1950). Основными компонентами ландшафта северной лесостепи являются участки мелколиственных травяных лесов, перемежающихся с открытыми пространствами лугов (Лашинский, Тищенко, 2011; Макунина, 2015). Мелколиственные травяные леса (эдификаторы: береза повислая (*Betula pendula* Roth), осина (*Populus tremula* L.)) занимают северные склоны сопок и балок, при продвижении к северу они выходят на водоразделы, а в подтаежной зоне становятся преобладающей частью растительного покрова. Еще одна характерная особенность этого района – высокая плотность населения и самая большая степень антропогенной трансформации.

4. Флористический район *Кузнецкий Алатау* характеризуется хорошо выраженной вертикальной поясностью, здесь господствуют гор-



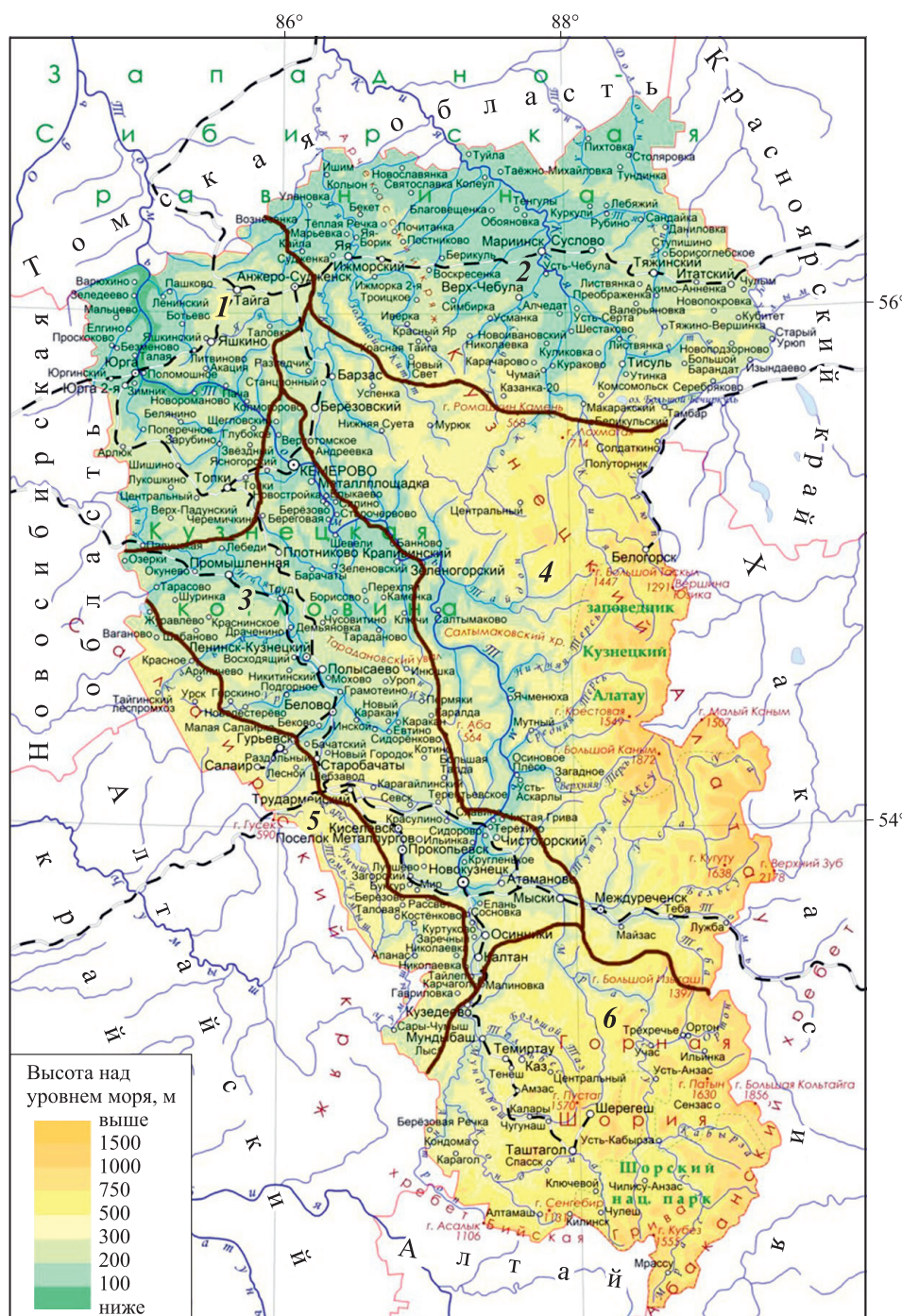


Схема флористического районирования Кузбасса.

Район: 1 – Колывань-Томский (КТ), 2 – Кия-Чулымский (КЧ), 3 – Кузнецкая котловина (КК), 4 – Кузнецко-Алатауский (КА), 5 – Салаирский край (СК), 6 – Горно-Шорский (ГШ).

но-таежные сообщества. Верхние части склонов и плоские вершины наиболее высоких гор занимают различные варианты кустарничковых тундровых сообществ с доминированием дриады остроzubчатой (*Dryas oxyodonta* Juz.) и водяники черной (*Empetrum nigrum* L.). В средней части горно-тундрового пояса развиты ерниковые (береза круглолистная (*Betula rotundifolia* Sprach.)) и лишайниково-ерниковые сообщества.

Также в мезопонижениях среди субальпийских лугов, по долинам рек, пологим склонам и межгорным седловинам, озерным котловинам и выровненным плато с уровнем грунтовых вод, близким к поверхности почвы, развиты заросли ерников с доминированием березы круглолистной и участием ольховника кустарникового (*Dusckesia fruticosa* (Rupr.) Pouzar), ивы сизой (*Salix glauca* L.), реже – с и. нарядной (*S. vestita*

Pursh), и. копьевидной (*S. hastata* L.). Ольховники встречаются в местах интенсивного снегонакопления в зимний период, в карах, на зарастающих влажных каменистых россыпях и курумах. Ивняки приурочены к берегам речек и ручьев, образуя заросли шириной до 15–20 м в местах с избыточным увлажнением. Ниже по профилю высокогорные растительные сообщества сменяются горно-лесным поясом. Верхняя граница леса расположена на северных склонах на высоте 1100–1200 м, а на южных – 1300–1400 м. Подпояс горно-таежных пихтово-кедровых и кедровых лесов, граничащий с субальпийскими формациями, расположен в пределах 800–1500 м. Довольно часто под пологом леса находятся практически чистые заросли черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.).

5. Флористический район *Салаирский кряж* в Кемеровской области представлен восточной частью, которая простирается с юго-востока от Горной Шории на северо-запад относительно узкой полосой – шириной 25–30 км. Характерная особенность территории – преобладание в растительном покрове черневых лесов. Черневые леса Салаира отличаются меньшим разнообразием неморальных реликтов, почти полным отсутствием кедров сибирского и большей долей осинового леса и открытых полей (Лашинский, 2009). По сравнению с типичными бореальными лесами здесь практически полностью отсутствуют кустарнички и зимне-зеленые растения.

6. Флористический район *Горная Шория* отличается преобладанием черневых и горно-таежных лесов, вертикальная поясность здесь выражена не так отчетливо, как в Кузнецком Алатау. Черневые пихтово-осиновые леса – «визитная карточка» гумидных низкогорий юга Сибири (Лашинский, 2009). Они характеризуются наличием в составе неморальных реликтов, весенних эфемероидов, подлеском из крупных кустарников, развитым высокотравьем (в особенности на открытых участках), отсутствием яруса кустарничков и мохового покрова, незначительным участием осок (*Carex* L.) и злаков (Куминова, 1950; Лашинский и др. 2011). Именно в Горной Шории сохранились уникальные реликтовые липовые леса, в составе которых максимально представлен комплекс третичных неморальных реликтов (Положий, Крапивкина, 1985). Чистые липняки представлены очень небольшими участками, в основном это ассоциации черневой тайги с примесью липы. В роли доминанта древесного яруса липа чаще выступает на южных

склонах или вершинах водоразделов (Крылов, 1891; Куприянов, 2012).

Современная инвентаризация флоры Кемеровской области показывает, что древесных растений здесь 173 вида, которые относятся к 69 родам и 29 семействам высших сосудистых растений (Флора..., 2023). Голосеменные представлены 9 видами, что составляет 5,2 % от общего состава дендрофлоры Кузбасса. На долю 10 ведущих семейств приходится 142 вида, или 82 % всего видового состава, 11 семейств (16 %) содержат по 1 роду и 1 виду. Крупнейшие семейства: розоцветные (Rosaceae) – 46 видов, ивовые (Salicaceae) – 38, вересковые (Ericaceae) – 13, березовые (Betulaceae), крыжовниковые (Grossulariaceae), яснотковые (Lamiaceae) – по 9 видов, сосновые (Pinaceae) и жимолостные (Caprifoliaceae) – по 5. По числу родов на первом месте также находятся розоцветные – 19, далее следуют вересковые – 8, сосновые – 5, яснотковые – 3. К самым крупным родам относятся ива (*Salix* L.) – 29 видов, тополь (*Populus* L.) – 9, береза (*Betula* L.) – 8, спирея (*Spiraea* L.) – 7, вишня (*Cerasus* (Mill.) A. Gray) и боярышник (*Crataegus* Tourn. ex L.) – по 5 видов, яблоня (*Malus* P. Mill.), малина (*Rubus* L.) и жимолость (*Lonicera* L.) – по 4, кизильник (*Cotoneaster* Medik.), можжевельник (*Juniperus* L.) и черемуха (*Padus*) – по 3.

Распределение видов древесных растений по флористическим районам Кузбасса неоднородно (см. таблицу).

В видовом отношении среди флористических районов лидирующее положение занимает Кузнецкая котловина – 120 видов (более 69 % от общего количества древесных растений региона). Этот факт объясняется разнообразным набором экотопов, позволяющим находить подходящие условия для обитания лесных, луговых, болотных, петрофитов, галофитов и степных видов, а также наличием разнообразных нарушенных местообитаний и тем, что здесь сосредоточены крупнейшие населенные пункты региона. Флористические районы горных территорий – Горная Шория и Кузнецкий Алатау – несколько уступают по числу видов Кузнецкой котловине, но также имеют довольно высокие показатели – 105 и 100 видов соответственно. На четвертом месте находится Кия-Чулымский район с 93 древесными видами. Наименьшее число видов отмечено для Салаирского кряжа – 84 вида и Колывань-Томской возвышенности – 78, что определяется относительной однородностью территорий и небольшой площадью.

## Распределение древесных растений по флористическим районам Кузбасса

| Вид                                                                          | Флористический район |    |    |    |    |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|----|----|----|----|
|                                                                              | КТ                   | КЧ | КК | КА | СК | ГШ |
| 1                                                                            | 2                    | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| Пихта сибирская ( <i>Abies sibirica</i> Ledeb.)                              | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| ** Клен гиннала ( <i>Acer ginnala</i> Maxim.)                                | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| * К. ясенелистный ( <i>A. negundo</i> L.)                                    | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| * К. татарский ( <i>A. tataricum</i> L.)                                     | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| * Ирга ольхолистная ( <i>Amelanchier alnifolia</i> (Nutt.) Nutt.)            | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| * И. колосистая ( <i>A. spicata</i> (Lam.) C. Koch)                          | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| ** Миндаль низкий ( <i>Amygdalus nana</i> L.)                                | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| Подбел обыкновенный ( <i>Andromeda polifolia</i> L.)                         | +                    | +  | –  | +  | –  | +  |
| Арктоус альпийский ( <i>Arctous alpina</i> (L.) Nied.)                       | –                    | –  | –  | +  | –  | +  |
| А. красноплодный ( <i>A. erythrocarpa</i> Small)                             | –                    | –  | –  | +  | –  | –  |
| ** Абрикос маньчжурский ( <i>Armeniaca mandshurica</i> (Maxim.) B. Skvorts.) | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| ** Черноплодная рябина ( <i>Aronia mitschurinii</i> A. Skvorts. et Maitull.) | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| Княжик сибирский ( <i>Atragene speciosa</i> Weinm.)                          | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| Барбарис сибирский ( <i>Berberis sibirica</i> Pall.)                         | –                    | –  | –  | +  | –  | –  |
| ** Б. обыкновенный ( <i>B. vulgaris</i> L.)                                  | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| Береза золотистая ( <i>Betula</i> × <i>aurata</i> Borkh.)                    | –                    | –  | –  | –  | +  | –  |
| Б. псевдомиддендорфа ( <i>B.</i> × <i>pseudomiddendorffi</i> Vassil)         | –                    | –  | –  | +  |    | +  |
| Б. кустарниковая ( <i>B. fruticosa</i> Pall.)                                | +                    | +  | –  | +  | +  | +  |
| Б. карликовая ( <i>B. nana</i> L.)                                           | –                    | +  | –  | –  | –  | –  |
| Б. повислая ( <i>B. pendula</i> Roth)                                        | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| Б. пушистая ( <i>B. pubescens</i> Ehrh.)                                     | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| Б. круглолистная ( <i>B. rotundifolia</i> Spach.)                            | –                    | +  | –  | +  | –  | +  |
| Б. извилистая ( <i>B. tortuosa</i> Ledeb.)                                   | –                    | –  | –  | +  | –  | +  |
| Карагана древовидная ( <i>Caragana arborescens</i> Lam.)                     | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| К. кустарниковая ( <i>C. frutex</i> (L.) K. Koch.)                           | +                    | –  | +  | –  | +  | +  |
| Боярышник кроваво-красный ( <i>Crataegus sanguinea</i> Pall.)                | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| ** Вишня птичья ( <i>Cerasus avium</i> (L.) Moench)                          | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| ** В. Бессея ( <i>C. besseyi</i> (Bailey) Smyth)                             | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| ** В. кустарниковая ( <i>C. fruticosa</i> Pall.)                             | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| ** В. войлочная ( <i>C. tomentosa</i> (Thunb.) Wall.)                        | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| ** В. обыкновенная ( <i>C. vulgaris</i> Mill.)                               | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| Хамедафне прицветничковая ( <i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench)      | –                    | +  | –  | –  | –  | –  |
| Зимолюбка зонтичная ( <i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W. P. C. Barton)      | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| Кизильник рыхлоцветковый ( <i>Cotoneaster laxiflorus</i> J. Jacq. ex Lindl.) | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| ** К. блестящий ( <i>C. lucidus</i> Schlecht.)                               | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| К. одноцветковый ( <i>C. uniflorus</i> Bunge.)                               | –                    | –  | –  | +  | –  | +  |
| ** Боярышник зеленомясый ( <i>Crataegus chlorosarca</i> Maxim.)              | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| ** Б. Королькова ( <i>C. korolkowii</i> L. Henry.)                           | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| ** Б. Максимовича ( <i>C. maximowiczii</i> C. K. Schneid.)                   | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| ** Б. черный ( <i>C. nigra</i> Waldst. et Kit.)                              | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| Волчегородник обыкновенный ( <i>Daphne mezereum</i> L.)                      | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |
| Курильский чай кустарниковый ( <i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) Rydb.)        | –                    | +  | +  | +  | –  | +  |
| Змееголовник Крылова ( <i>Dracocephalum krylovii</i> Lipsky)                 | –                    | –  | –  | –  | –  | +  |
| Дриада острозубчатая ( <i>Dryas oxodonta</i> Juz.)                           | –                    | –  | –  | –  | –  | –  |
| Ольховник кустарниковый ( <i>Duschekia fruticosa</i> (Rupr.) Pouzar)         | –                    | +  | –  | +  | +  | +  |
| ** Лох узколистный ( <i>Elaeagnus angustifolia</i> L.)                       | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| ** Л. серебристый ( <i>E. commutata</i> Bernh. ex Rydb.)                     | –                    | –  | +  | –  | –  | –  |
| Водяника черная ( <i>Empetrum nigrum</i> L.)                                 | –                    | –  | –  | +  | –  | +  |
| Хвойник односемянный ( <i>Ephedra monosperma</i> J. G. Gmel. ex C. A. Mey.)  | +                    | +  | +  | +  | +  | +  |



## Продолжение таблицы

| 1                                                                                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Крушина ольховидная ( <i>Frangula alnus</i> Mill)                                      | + | + | + | + | + | + |
| ** Ясень высокий ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.)                                       | – | – | + | – | – | – |
| * Я. пенсильванский ( <i>F. pennsylvanica</i> March.)                                  | – | – | + | – | – | + |
| * Дрок красильный ( <i>Genista tinctoria</i> L.)                                       | – | – | + | – | – | – |
| Крыжовник игольчатый ( <i>Grossularia acicularis</i> (Smith) Spach)                    | – | + | + | + | + | + |
| ** К. отклоненный ( <i>G. reclinate</i> (L.) Mill)                                     | + | + | + | + | + | + |
| ** К. обыкновенный ( <i>G. uva-crispa</i> (L.) Mill.)                                  | + | + | + | + | + | + |
| * Облепиха крушиновидная ( <i>Hippophae rhamnoides</i> L.)                             | + | + | + | – | – | – |
| Иссоп сомнительный ( <i>Hyssopus ambiguus</i> (Trautv.) Iljin)                         | – | – | + | – | – | – |
| * Орех маньчжурский ( <i>Juglans mandshurica</i> Maxim.)                               | – | – | – | – | – | + |
| Можжевельник обыкновенный ( <i>Juniperus communis</i> L.)                              | – | + | – | – | – | + |
| М. казацкий ( <i>J. sabina</i> L.)                                                     | – | – | – | – | + | + |
| М. сибирский ( <i>J. sibirica</i> Burgsd.)                                             | – | – | – | + | – | + |
| Кохия простертая ( <i>Kochia prostrata</i> (L.) Schrad.)                               | + | – | + | – | + | – |
| Крашенинниковия терескеновая ( <i>Krascheninnikovia ceratoides</i> (L.) Gueldenst.)    | – | – | + | – | – | – |
| Лиственница сибирская ( <i>Larix sibirica</i> Ledeb.)                                  | + | + | + | + | + | – |
| Багульник болотный ( <i>Ledum palustre</i> L.)                                         | + | + | + | + | + | + |
| Линнея северная ( <i>Linnaea borealis</i> L.)                                          | + | + | + | + | + | + |
| Жимолость алтайская ( <i>Lonicera altaica</i> Pall.)                                   | + | + | – | + | + | + |
| Ж. Палласа ( <i>L. pallasii</i> Ledeb.)                                                | + | + | + | + | + | + |
| Ж. татарская ( <i>L. tatarica</i> L.)                                                  | + | + | + | + | + | + |
| Ж. обыкновенная ( <i>L. xylosteum</i> L.)                                              | + | + | + | + | + | + |
| * Яблоня ягодная ( <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.)                                   | + | + | + | + | + | + |
| ** Я. домашняя ( <i>M. domestica</i> Borkh.)                                           | + | + | + | + | + | + |
| ** Я. Недзвецкого ( <i>M. niedzwetzkyana</i> Dieck)                                    | + | + | + | + | + | + |
| ** Я. сливолистная ( <i>M. prunifolia</i> (Willd.) Borkh.)                             | – | – | + | – | – | – |
| Клюква мелкоплодная ( <i>Oxycoccus microcarpus</i> Turcz. ex Rupr)                     | + | + | – | + | – | – |
| К. болотная ( <i>O. palustris</i> Pers.)                                               | – | + | – | + | + | + |
| Черемуха обыкновенная ( <i>Padus avium</i> Mill.)                                      | + | + | + | + | + | + |
| * Ч. Маака ( <i>P. maackii</i> (Rupr.) Kom.)                                           | – | – | + | – | – | – |
| ** Ч. виргинская ( <i>P. virginiana</i> (L.) Mill.)                                    | – | – | + | – | – | – |
| ** Девичий виноград пятилисточковый ( <i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.) | – | – | + | – | – | – |
| ** Чубушник венечный ( <i>Philadelphus coronarius</i> L.)                              | – | – | + | – | – | – |
| ** Ч. тонколистный ( <i>Ph. tenuifolius</i> Rupr. et Maxim.)                           | – | – | + | – | – | – |
| ** Пузыреплодник калинолистный ( <i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.)           | – | – | + | – | – | – |
| Ель сибирская ( <i>Picea obovata</i> Ledeb.)                                           | + | + | + | + | + | + |
| Сосна сибирская кедровая ( <i>Pinus sibirica</i> Du Tour)                              | + | + | – | + | + | + |
| С. обыкновенная ( <i>P. sylvestris</i> L.)                                             | + | + | + | + | + | + |
| Тополь белый ( <i>Populus alba</i> L.)                                                 | + | + | + | – | – | + |
| Т. сереющий ( <i>P. × canescens</i> (Aiton) Sm.)                                       | – | – | + | – | – | – |
| Т. иртышский ( <i>P. × irtyschensis</i> Chang Y. Yang)                                 | – | – | + | + | – | – |
| Т. лавролистный ( <i>P. laurifolia</i> Ledeb.)                                         | – | – | + | + | – | + |
| Т. черный ( <i>P. nigra</i> L.)                                                        | + | + | + | + | + | + |
| ** Т. Петровского ( <i>P. × petrovskoe</i> R. I. Schröd. ex Wolkenst.)                 | – | – | + | – | – | – |
| * Т. сибирский ( <i>P. × sibirica</i> G. V. Krylov et G. V. Grig. ex A. K. Skvortsov)  | + | + | + | + | + | + |
| ** Т. душистый ( <i>P. suaveolens</i> Fisch.)                                          | – | – | + | – | – | – |
| Осина ( <i>P. tremula</i> L.)                                                          | + | + | + | + | + | + |
| ** Слива домашняя ( <i>Prunus domestica</i> L.)                                        | – | – | + | – | – | – |
| * Дуб черешчатый ( <i>Quercus robur</i> Pall.)                                         | + | + | + | – | – | – |
| Рододендрон золотистый ( <i>Rhododendron aureum</i> Georgi)                            | – | – | – | + | – | + |



## Продолжение таблицы

| 1                                                                       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Смородина темно-пурпуровая ( <i>Ribes atropurpureum</i> C. A. Mey.)     | + | + | + | + | + | + |
| С. голая ( <i>R. glabrum</i> (Hedl.) Sennik.)                           | — | — | — | — | + | — |
| С. черная ( <i>R. nigrum</i> L.)                                        | + | + | + | + | + | + |
| С. моховая ( <i>R. procumbens</i> Pall.)                                | — | + | — | — | — | — |
| ** С. красная ( <i>R. rubrum</i> L.)                                    | + | + | + | + | + | + |
| С. колосистая ( <i>R. spicatum</i> Robson)                              | + | + | + | + | + | + |
| Шиповник иглистый ( <i>Rosa acicularis</i> Lindl.)                      | + | + | + | + | + | + |
| Ш. коричный ( <i>R. majalis</i> Herrm.)                                 | + | + | + | + | + | + |
| * Ш. морщинистый ( <i>R. rugosa</i> Thunb.)                             | — | — | + | — | — | — |
| ** Малина душистая ( <i>Rubacer odoratum</i> (L.) Rydb.)                | — | — | + | — | — | — |
| Княженика обыкновенная ( <i>Rubus arcticus</i> L.)                      | + | + | — | — | — | — |
| Ежевика сизая ( <i>Rubus caesius</i> L.)                                | — | — | + | — | + | + |
| Малина обыкновенная ( <i>Rubus idaeus</i> L.)                           | + | + | + | + | + | + |
| М. Мацумуры ( <i>R. melanolasius</i> Focke)                             | — | + | — | + | — | + |
| Ива белая ( <i>Salix alba</i> L.)                                       | + | + | + | — | + | + |
| И. Бебба ( <i>S. bebbiana</i> Sarg.)                                    | + | + | + | + | + | + |
| И. козья ( <i>S. caprea</i> L.)                                         | + | + | + | + | + | + |
| И. пепельная ( <i>S. cinerea</i> L.)                                    | + | + | + | + | + | + |
| Ива Гмелина ( <i>S. dasyclados</i> Wimm.)                               | + | + | + | + | + | + |
| ** И. ломкая ( <i>S. × fragilis</i> L.)                                 | + | + | + | + | + | + |
| И. сизая ( <i>S. glauca</i> L.)                                         | — | — | — | + | — | + |
| И. копьевидная ( <i>S. hastata</i> L.)                                  | — | — | — | + | — | + |
| И. енисейская ( <i>S. jensseensis</i> (Fr. Schmidt) B. Flod.)           | — | — | — | + | — | + |
| И. Коха ( <i>S. kochiana</i> Trautv.)                                   | — | + | — | — | — | — |
| И. лапландская ( <i>S. lapponum</i> L.)                                 | — | + | + | + | + | — |
| ** И. Ледебера ( <i>S. ledebouriana</i> Trautv.)                        | + | + | + | + | + | + |
| И. черничная ( <i>S. myrtilloides</i> L.)                               | + | — | — | + | — | — |
| И. монетолистная ( <i>S. nummularia</i> Anderss.)                       | — | — | — | + | — | — |
| И. пятичлениковая ( <i>S. pentandra</i> L.)                             | + | + | + | + | + | + |
| И. ложнопятичлениковая ( <i>S. pseudopentandra</i> (B. Flod.) B. Flod.) | + | + | + | + | + | + |
| И. грушанколистная ( <i>S. pyrolifolia</i> Ledeb.)                      | + | + | + | + | + | + |
| И. прямосережчатая ( <i>S. rectijulis</i> Ledeb. ex Trautv.)            | — | — | — | + | — | — |
| И. сетчатая ( <i>S. reticulata</i> L.)                                  | — | — | — | + | — | — |
| И. крушинолистная ( <i>S. rhamnifolia</i> Pall.)                        | — | + | — | + | — | + |
| И. росистая ( <i>S. rorida</i> Laksch.)                                 | — | + | — | — | + | + |
| И. розмаринолистная ( <i>S. rosmarinifolia</i> L.)                      | — | + | + | — | + | + |
| И. саянская ( <i>S. sajanensis</i> Nasarov)                             | — | — | — | + | — | — |
| И. скальная ( <i>S. saxatilis</i> Turcz. ex Ledeb.)                     | — | — | — | + | — | — |
| И. тарайкинская ( <i>S. taraiensis</i> Kimura)                          | — | — | + | + | — | — |
| И. трехчлениковая ( <i>S. triandra</i> L.)                              | — | — | — | + | + | — |
| И. Турчанинова ( <i>S. turczaninowii</i> Laksch.)                       | — | — | — | — | + | — |
| И. нарядная ( <i>S. vestita</i> Pursh.)                                 | — | — | — | — | + | — |
| И. прутовидная ( <i>S. viminalis</i> L.)                                | + | + | + | + | + | + |
| Бузина сибирская ( <i>Sambucus sibirica</i> Nakai)                      | + | + | + | + | + | + |
| Паслен Китагавы ( <i>Solanum kitagawae</i> Schonb.-Tem.)                | + | + | + | + | + | + |
| * Рябинник рябинолистный ( <i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A. Br.)      | — | — | + | — | — | — |
| Рябина сибирская ( <i>Sorbus sibirica</i> Hedl.)                        | + | + | + | + | + | + |
| Спирея дубровколистная ( <i>Spiraea chamaedryfolia</i> L.)              | + | + | + | + | + | + |
| С. извилистая ( <i>S. flexuosa</i> Fisch. ex Cambess.)                  | — | — | — | + | — | — |
| С. зверобоелистная ( <i>S. hypericifolia</i> L.)                        | + | — | + | — | + | + |
| ** С. японская ( <i>S. japonica</i> L. f.)                              | — | — | + | — | — | — |
| С. средняя ( <i>S. media</i> Schmidt.)                                  | + | + | + | + | + | + |

## Окончание таблицы

| 1                                                                    | 2  | 3  | 4   | 5   | 6  | 7   |
|----------------------------------------------------------------------|----|----|-----|-----|----|-----|
| С. иволистная ( <i>S. salicifolia</i> L.)                            | +  | +  | –   | –   | +  | –   |
| ** С. Вангутта ( <i>S. × vanhouttei</i> (Briot) Carrière)            | –  | –  | –   | +   | –  | –   |
| * Сирень венгерская ( <i>Syringa josikaea</i> Jacq. f. ex Reichenb.) | –  | +  | +   | –   | –  | –   |
| * С. обыкновенная ( <i>S. vulgaris</i> L.)                           | –  | –  | +   | –   | –  | –   |
| Свидина белая ( <i>Swida alba</i> (L.) Opiz)                         | +  | +  | +   | +   | +  | +   |
| Тимьян алтайский ( <i>Thymus altaicus</i> Klovov et Des-Shost.)      | –  | –  | –   | +   | –  | –   |
| Т. енисейский ( <i>Th. jenseiensis</i> Iljin)                        | –  | +  | –   | +   | +  | +   |
| Т. Маршалла ( <i>Th. marschallianus</i> Willd.)                      | +  | –  | +   | –   | +  | –   |
| Т. монгольский ( <i>Th. mongolicus</i> (Ronniger) Ronniger)          | +  | +  | +   | –   | –  | +   |
| Т. близкий ( <i>Th. proximus</i> Serg.)                              | –  | +  | –   | +   | –  | –   |
| Т. розовый ( <i>Th. roseus</i> Schipcz.)                             | –  | –  | +   | –   | –  | –   |
| Т. сибирский ( <i>Th. sibiricus</i> Klovov et Des-Shost.0            | –  | +  | +   | +   | –  | +   |
| * Липа сердцевидная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)                    | +  | +  | +   | –   | –  | –   |
| Л. сибирская ( <i>Tilia sibirica</i> Fisch. ex Bayer.)               | –  | –  | +   | +   | +  | +   |
| ** Вяз шершавый ( <i>Ulmus glabra</i> Huds.)                         | –  | –  | +   | –   | –  | –   |
| * В. гладкий ( <i>Ulmus laevis</i> Pall.)                            | –  | –  | +   | –   | –  | +   |
| * В. низкий ( <i>Ulmus pumila</i> L.)                                | –  | –  | +   | –   | –  | +   |
| Черника обыкновенная ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.)                | +  | +  | –   | +   | +  | +   |
| <i>V. myrtillus</i> subsp. <i>compactum</i> Timoschok                | –  | –  | –   | +   | –  | –   |
| Голубика обыкновенная ( <i>V. uliginosum</i> L.)                     | –  | +  | –   | +   | –  | +   |
| Брусника обыкновенная ( <i>V. vitis-idaea</i> L.)                    | +  | +  | +   | +   | +  | +   |
| Калина обыкновенная ( <i>Viburnum opulus</i> L.)                     | +  | +  | +   | +   | +  | +   |
| Всего ...                                                            | 78 | 93 | 120 | 105 | 84 | 100 |

Примечание. «+» – присутствие вида; «–» – отсутствие вида.

\* Адвентивные виды, в том числе культивируемые растения, отмеченные за пределами мест выращивания и распространяющиеся по одному или нескольким типам антропогенных мест обитания.

\*\* Культивируемые виды, имеющие тенденцию долго задерживаться на местах культивирования, но их распространение ограничено преимущественно местами заноса.

Кузнецкая котловина занимает первое место и по количеству заносных видов – 53 вида, из них 36 культивируемых и 17 адвентов. Второе и третье места делят Кия-Чулымский и Горно-Шорский районы, но они значительно уступают Кузнецкой котловине, включая в свой состав по 19 чужеродных видов (из них 7 адвентов и 12 культивируемых). В Колывань-Томском районе отмечено 18 чужеродных видов, из них 6 адвентивных, в Кузнецком Алатау и Салаирском крае – по 16, 15 заносных видов соответственно, из них по 3 адвента. По соотношению аборигенных и адвентивных видов мы можем судить о степени сохранности флоры того или иного района. Самое большое участие в сложении флоры чужеродных видов имеет Кузнецкая котловина – 44 % от общего количества дендрофлоры района, на втором месте находится Колывань-Томский район – 23 %, далее следуют Кия-Чулымский – 20 %, Горно-Шорский – 19 %, Салаирский край – 18 %, на последнем месте –

Кузнецко-Алатаусский флористический район – 15 % заносных видов.

Из адвентов во всех районах встречаются: клен ясенелистный, яблоня ягодная, тополь сибирский. Клен ясенелистный и яблоня ягодная относятся к инвазионным видам. Они включены в «Черную книгу флоры Сибири» (2016), где для клена на территории Кемеровской области определен статус 1 – вид-трансформер, для яблони – статус 3 (поселяется и натурализуется в нарушенных местообитаниях). Наблюдения последних лет показывают, что яблоня ягодная стала отмечаться в лесных массивах, иногда на значительном удалении от населенных пунктов, что диктует необходимость изменить для региона статус вида на 2 (виды, активно расселяющиеся и натурализующиеся в нарушенных полустественных и естественных местообитаниях). Также в «Черную книгу флоры Сибири» (2016) включены ирга колосистая со статусом 4 (потенциально инвазионные виды, способные

к восстановлению в местах заноса), вяз гладкий (для Кузбасса статус не определен), вяз низкий – со статусом 3.

Группа культивируемых видов – самая слабоизученная. По-видимому, многие из отмеченных для Кузбасса видов более широко используются в населенных пунктах в различных районах области, но достоверных сведений к настоящему времени по этой группе недостаточно. По имеющимся данным из 37 культивируемых видов 12 встречаются во всех флористических районах. Это в основном пищевые растения, представители родов барбарис (*Berberis* L.), вишня, крыжовник (*Grossularia*), яблоня, смородина (*Ribes* L.) и 2 вида из рода ив, использующиеся для озеленения населенных пунктов.

Во флоре древесных растений 10 видов включены в Красную книгу Кузбасса (2021): рододендрон золотистый, крашенинниковия терескенная – категория редкости 1; жимолость Крылова, можжевельник обыкновенный, липа сибирская – категория редкости 2; арктоус альпийский, арктоус красноплодный, хвойник односемянный, тополь белый, тимьян Маршалла – категория редкости 3. Большинство редких видов встречаются только в естественных местообитаниях, но такие виды, как можжевельник обыкновенный, липа сибирская привлекаются для озеленения городских территорий.

В настоящее время из множества классификаций жизненных форм наиболее часто современными исследователями во флористических работах используются классификации И. Г. Серебрякова (1964) и К. Раункиера (Raunkiaer, 1934). В соответствии с модифицированной классификацией жизненных форм по И. Г. Серебрякову для видов дендрофлоры Кузбасса выделено 2 отдела: древесные (156 видов), полудревесные (17 видов); 5 типов: деревья (56 видов), кустарники (85 видов), кустарнички (15 видов), полукустарники (5 видов) и полукустарнички (12 видов), 10 классов: деревья вечнозеленые (4 вида), деревья летне-зеленые (52 вида), кустарники вечнозеленые (6 видов), кустарники летне-зеленые (79 видов), кустарнички вечнозеленые (6 видов), кустарнички летне-зеленые (9 видов), полукустарники летне-зеленые (3 вида), полукустарнички вечнозеленые (1 вид), полукустарнички летне-зеленые (11 видов), летне-зеленые деревянистые лианы (2 вида). Согласно классификации К. Раункиера, дендрофлора Кемеровской области включает 140 фанерофитов и 33 деревянистых хамефитов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дендрофлора Кузбасса формировалась на границе двух флористических провинций – Западно-Сибирской и Алтае-Саянской. Это определило довольно высокий показатель таксономического разнообразия – 173 вида, что составляет около 10 % от общего состава флоры региона (1733 вида) (Флора..., 2023).

Анализ распределения древесных видов по флористическим районам показал, что наибольшим богатством как аборигенных, так и адвентивных видов отличается самый освоенный район – Кузнецкая котловина. Второе место по числу видов (при минимальном участии адвентов) занимает Кузнецкий Алатау, который, наоборот, характеризуется относительной труднодоступностью и соответственно самой низкой степенью антропогенной трансформации.

Большую роль в сложении флоры древесных растений Кемеровской области в настоящее время играет антропогенное влияние, в особенности то, что она отличается от других субъектов Азиатской части России самой высокой плотностью населения и является регионом интенсивного освоения, что определяет существенное влияние на растительный покров. В силу этих обстоятельств в состав флоры проникают заносные виды, на данный момент их 56 (более 32 % от общего состава дендрофлоры региона), из них 19 адвентов и 37 культивируемых. Отмечаем, что адвентизация затронула все районы Кузбасса, даже самые труднодоступные (Кузнецкий Алатау).

С адвентивными видами во флоре Кузбасса появляются новые семейства: вязовые (*Ulmaceae*), кленовые (*Aceraceae*), маслиновые (*Oleaceae*), и новые роды: вяз (*Ulmus* L.), ирга (*Amelanchier* Medik.), яблоня, рябинник (*Sorbaria* (Ser. ex DC.) A. Braun), клен (*Acer* L.), облепиха (*Hippophae* L.) и др. Самую изменчивую фракцию современной дендрофлоры представляют культивируемые виды. Большое количество новых видов и сортов, выращиваемых на территории Кузбасса, в особенности в частных подворьях или на дачных участках, трудно учесть, но обращать внимание на эту группу растений как на дальнейший источник инвазий во флору необходимо. Зачастую культивируемые растения также относятся к родам, не характерным для региона: миндаль (*Amygdalus* L.), укроп (*Anethum* Mill.), абрикос (*Armeniaca* L.), арония (*Aronia* Medik.), вишня, арбуз (*Citrullus* Schrad. ex Eckl. & Zeyh.), ясень (*Fraxinus* L.), слива (*Prunus* L.) и т. п.

Наблюдения последних лет и результаты проведенного анализа современного состояния флоры древесных растений показывают, что процесс расширения ареалов некоторых чужеродных видов в пределах Кузбасса находится в активной фазе. Полагаем, что к инвазионным видам, помимо уже указанных для области, необходимо добавить облепиху крушиновидную со статусом 4. Считаем, что для вяза гладкого необходимо установить 4-й статус инвазивности.

В свою очередь, сокращение популяций узкого эндемика Кузбасса – змееголовника Крылова – диктует необходимость изменения категории редкости вида с 2 на 1. Наблюдения за ценопопуляциями данного вида проводятся нами с 2008 г. (Черемушкина и др., 2008), во время экспедиционных исследований на территории Горной Шории в 2021 г. было отмечено разрушение значительной части местообитаний высоким паводком р. Мрассу. Необходимо проведение дополнительных исследований на территориях предполагаемого обитания ископа сомнительного, так как с 1890 г. (сборы П. Н. Крылова, ТК!) этот вид в области не отмечался и, по-видимому, может быть отнесен к исчезнувшим с территории региона.

Анализ жизненных форм по классификации И. Г. Серебрякова (1964) показал, что в составе дендрофлоры Кемеровской области преобладают представители отдела древесные (90 % от общего состава видов); типа кустарники (49 %); класса кустарники летне-зеленые (46 %). Согласно классификации К. Раункиера, дендрофлора Кузбасса на 81 % состоит из фанерофитов.

*Работа выполнена по государственному заданию № 0352-2019-0015, ЕГИСУ ААА-А-А17-117041410053-1, с привлечением фондов гербария Кузбасского ботанического сада (КУЗ) № USU 508667*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баранник Л. П. Эколого-биологические основы лесной рекультивации техногенных земель Кузбасса: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / 03.00.05. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 1992. 33 с.

Баранов В. И., Смирнов М. Н. Пихтовая тайга на предгорьях Алтая. Пермь: Перм. гос. ун-т, 1931. 145 с.

Вдовин В. В. Кузнецко-Салаирская провинция // Рельеф Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. С. 40–70.

Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 494 с.

Грубов В. И. О современном состоянии липового острова в предгорьях Кузнецкого Алатау // Сов. бот. 1940. № 1. С. 84–85.

Климов А. В. К характеристике осокорников поймы реки Томи окрестностей города Новокузнецка // Проблемы охраны растительного мира Сибири: Тез. докл. междунар. совещ. Новосибирск, 2001. С. 52.

Климов А. В. Конспект флоры высших сосудистых растений топольников верхнего и среднего течения реки Томи // Флора и растительность антропогенно нарушенных территорий: Сб. науч. тр. Кемер. отд. РБО. Кемерово, 2006. Вып. 2. С. 19–30.

Колокольников Л. Б. О распространении липы и некоторых новых растениях Кузнецкого Алатау // Заметки по фауне и флоре Сибири. Томск: Том. гос. ун-т им. В. В. Куйбышева, 1941. Вып. 5. С. 1–8.

Красная книга Кузбасса. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Т. I / Отв. ред. А. Н. Куприянов. 3-е изд., перераб. и доп. Кемерово: Вектор-Принт, 2021. 240 с.

Красноборов И. М. Исследователи флоры Кемеровской области // Бот. иссл. Сибири и Казахстана. 2006. Вып. 12. С. 134–147.

Крылов П. Н. Липа на предгорьях Кузнецкого Алатау // Изв. Том. ун-та. 1891. Вып. 1. 40 с.

Кумина А. В. Растительность Кемеровской области. Новосибирск: ОГИЗ, 1950. 167 с.

Куприянов А. Н., Лазарев К. С. Древесные растения в городе Кемерово // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири: Материалы V междунар. Интернет-конф. Томск, 2011. С. 105–117.

Куприянов А. Н., Лазарев К. С. Материалы к урбанофлоре города Кемерово // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Материалы докл. VI Междунар. конф., Кемерово, 06–07 октября 2021 г. Кемерово: Фед. иссл. центр угля и углехимии СО РАН, 2012. С. 104–107.

Куприянов О. А. Особенности произрастания липы в Сибири // Mat-ly VIII mezinárodní vědecko-prakt. conf. «Dny vědy – 2012». Díl 71. Praha: Ekologie, 2012. С. 100–105.

Лазарев К. С., Куприянов А. Н. Анализ степени натурализации интродуцированных деревьев и кустарников в г. Кемерово // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: Чт. пам. Л. М. Черепнина. Материалы пятой Всерос. конф. с междунар. участ. Красноярск: КГПУ, 2011. Т. 2. С. 129–137.

Лазинский Н. Н. Растительность Салаирского кряжа. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 264 с.

Лазинский Н. Н., Макунина Н. И., Писаренко О. Ю., Гуляева А. Ф. Ландшафтообразующая растительность северной части Мелафировой подковы (Кемеровская область) // Раст. мир Азиат. России. 2011. № 2 (8). С. 85–99.

Лазинский Н. Н., Тищенко М. П. Лесные луга подтайги Обь-Иртышского междуречья // Вестн. ТГУ. Биол. 2011. № 3 (15). С. 92–97.

Макунина Н. И. Растительность лесостепи Западно-Сибирской равнины и Алтае-Саянской горной области: классификация, структура и ботанико-географические закономерности: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.01. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 2015. 32 с.



- Определитель растений Кемеровской области* / Отв. ред. И. М. Красноров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 477 с.
- Петров А. П. Введение в дендрологию: учеб. пособ. Екатеринбург: УГЛТУ, 2019. 104 с.
- Петункина Л. О. Разнообразие и состояние объектов озелененных территорий общего пользования в г. Кемерово // Вестн. Кем. гос. ун-та. 2015. № 3–4. С. 62–67.
- Положий А. В., Крапивкина Э. Д. Реликты третичных широколиственных лесов во флоре Сибири. Томск: Том. гос. ун-т им. В. В. Куйбышева, 1985. 158 с.
- Серебряков И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 146–205.
- Флора Кемеровской области / Отв. ред. С. А. Шереметова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2023. 520 с.
- Флора Сибири. Новосибирск: Наука, 1987–2003. Т. 1–14.
- Хлонов Ю. П. Закономерности распределения древесных растений в Горной Шории // Проблемы комплексного изучения географического района и методика краеведческой работы в школе: Материалы науч.-метод. конф. Новокузнецк: Новокузнецк. гос. пед. ин-т, 1970. С. 43–44.
- Хлонов Ю. П. Сохранение редких для Кемеровской области кустарников // Охрана горных ландшафтов Сибири. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1973. С. 177–181.
- Хлонов Ю. П. Деревья и кустарники юго-восточной части Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1979. 127 с.
- Цифровой гербарий МГУ. М.: МГУ, 2024. <https://plant.depo.msu.ru/>
- Черемушкина В. А., Шереметова С. А., Буко Т. Е. Ценопопуляции *Dracoscephalum krylovii* Lipsky в Горной Шории // Бот. журн. 2008. № 10. С. 67–73.
- Черная книга флоры Сибири / Отв. ред. А. Н. Куприянов. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2016. 440 с.
- Шереметова С. А. К вопросу о флористическом районировании Кемеровской области // Бот. иссл. Сибири и Казахстана. 2019. Вып. 25. С. 34–41.
- Шереметова С. А., Климов А. В., Прошкин Б. В. Семейство Salicaceae Mirb. (Ивовые) в Кузбассе // Бот. иссл. Сибири и Казахстана. 2022. Вып. 28. С. 46–54.
- Шереметова С. А., Шереметов Р. Т. Бассейн реки Томь (флористические и физико-географические особенности). Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2020. 323 с.
- Эбель А. Л. Конспект флоры северо-западной части Алтае-Саянской провинции. Кемерово: Ирбис, 2012. 568 с.
- GBIF. Global Biodiversity Information Facility, 2024. <https://www.gbif.org/>
- IPNI. International Plant Names Index, 2024. <https://www.ipni.org/>
- Raunkiaer Ch. The life forms of plants and statistical plant geography. L.: Oxford Univ. Press, 1934. 632 p.

## DENDROFLORA OF KUZBASS

S. A. Sheremetova<sup>1,2</sup>, E. B. Rot'kina<sup>2</sup>, M. S. Rakina<sup>2</sup>, S. N. Vityaz'<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kuzbass Botanical Garden, Institute of Human Ecology,  
Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Prospekt Leningradskiy, 10, Kemerovo, 650065 Russian Federation

<sup>2</sup> Kuzbass State Agrarian University  
Markovtseva str., 5, Kemerovo, 650056 Russian Federation

---

E-mail: ssheremetova@rambler.ru, k.rot@mail.ru, ra\_machka@mail.ru, svetlana\_vityaz@mail.ru

The distribution of woody plants of the Kemerovo region according to the scheme of floristic zoning of Kuzbass is given. The characteristic features of forest communities for each floral area are noted. It was found that woody plants in Kuzbass are represented by 173 species, 69 genera and 29 families. The dendroflora of Kuzbass consists of 94.8 % of flowering plants, the share of gymnosperms accounts for 5.2 %. The largest families of woody plants of the Kemerovo region are: Rosaceae, Salicaceae, Ericaceae, Betulaceae, Grossulariaceae, Lamiaceae and largest genera: willows (*Salix* L.) and poplar (*Populus* L.). Updated data on floristic areas show that the first place in terms of the number of native and introduced species is occupied by the most densely populated area – the Kuznetsk Basin. In second place in terms of the number of species is the Kuznetsky Alatau floristic district with minimal participation of introduced species. In total, 56 alien woody plants were found in the flora of Kuzbass. Of these, there are 19 advent trees, 3 of which are found in all floral areas. Of the 37 cultivated species, 12 are found in all floristic areas. As part of the flora of woody plants of the Kemerovo region, 10 species are included in the «Red Book of Kuzbass» (2021). For the narrow endemic of Kuzbass, *Dracocephalum krylovii* Lipsky, it is proposed to change the rarity category of the species from 2 to 1. Six species included in the «Black Book of Flora of Siberia» (2016) were noted, indicating the status of invasiveness of each. It is proposed to establish the status of invasiveness for *Ulmus laevis* Pall. 4 and include it in the list of Black Book *Hippophae rhamnoides* L. with status 4. According to generally accepted classifications of life forms, it was found that summer-green shrubs and phanerophytes predominate in the composition of the dendroflora of Kuzbass.

**Keywords:** woody plants, taxonomic diversity, life forms, floristic areas, adventitious, invasive, rare, alien species, Kemerovo Oblast.

**How to cite:** Sheremetova S. A., Rot'kina E. B., Rakina M. S., Vityaz' S. N. Dendroflora of Kuzbass // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 31–43 (in Russian with English abstract and references).

УДК 575.85

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ И МИКРОСАТЕЛЛИТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОИДНОСТИ НЕКОТОРЫХ ОБРАЗЦОВ *Betula* L.

С. О. Медведева<sup>1</sup>, О. Е. Черепанова<sup>1</sup>, Е. Г. Филиппов<sup>1</sup>, А. Ю. Тептина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ботанический сад УрО РАН  
620144, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина  
620062, Екатеринбург, ул. Мира, 19

E-mail: so.medvedeva@gmail.com, Botgarden.olga@gmail.com, Filorch@mail.ru, ateptina@gmail.com

Поступила в редакцию 11.07.2024 г.

Береза карликовая (*Betula nana* L.) – циркумполярный низкий кустарник, распространенный в Северном полушарии. Ранее были высказаны предположения о ее гибридизации с симпатическим видом – березой пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) – с образованием триплоидных гибридов в северных районах Западной Евразии. Данные о наличии и интенсивности гибридизации этих видов на территории России немногочисленны и требуют дополнительного изучения и верификации. Цель данного исследования – изучение уровня ploидности некоторых образцов березы, произрастающих в горной тундре в Алтайском горном массиве, для выявления триплоидных гибридных форм. В работе использован метод проточной цитометрии в сочетании с анализом ядерных микросателлитных локусов. Среднее содержание ДНК (2C) у исследованных образцов березы карликовой и б. повислой (*B. pendula* Roth) составило 0.966 и 0.974 пг соответственно, подтверждая их диплоидный геном, при этом значение этого показателя у предполагаемого гибридного образца отличалось в 1.46 раз и составило 1.413 пг, что свидетельствует о его вероятном триплоидном геноме. Анализ ядерных микросателлитных локусов позволил верифицировать данные, полученные методом проточной цитометрии. Показано, что ядерные локусы L3.1, L7.3, L1.10, L5.4 в наибольшей степени подходят для выявления триплоидных гибридных образцов берез. Выполненная работа подтверждает существование гибридов березы карликовой и б. пушистой в популяциях карликовых берез. Для их поиска эффективно использование метода проточной цитометрии в сочетании с микросателлитным анализом.

**Ключевые слова:** гибридизация, береза карликовая, размер генома, содержание ДНК, фрагментный анализ.

DOI: 10.15372/SJFS20240606

### ВВЕДЕНИЕ

Гибридизация – распространенное явление при видообразовании у растений, предположительно около 11 % древесных видов произошли в результате этих процессов (Ellstrand et al., 1996; Schley et al., 2022). Межвидовая гибридизация между близкородственными видами в естественных условиях у некоторых таксономических групп происходит достаточно часто. Например, у представителей рода береза (*Betula* L.), включающего, по разным данным, от 30 до 120 таксонов видового и подвидового ранга, встречаются полиплоиды предположительно

гибридной природы (Furlow, 1990; Ashburner, McAllister, 2013; Koropachinskiy, 2015; Медведева, Черепанова, 2023). При этом накоплено относительно мало экспериментальных данных, подтверждающих формирование новых таксонов в результате гибридизации, а также указывающих на приобретение новых адаптаций в этом процессе, усиливающих приспособленность к изменяющимся условиям среды (Peñalba et al., 2024). Среди всего многообразия видов, входящих в род береза, особый интерес представляют тетраплоид береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), диплоид б. повислая (*B. pendula* Roth), диплоид б. карликовая (*B. nana* L.), наиболее

широко распространенные на территории Евразии (Агапова и др., 1990).

Береза карликовая, относящаяся к секции *Aptercaryon* (Медведева, Черепанова, 2023), – низкий ветвистый кустарник Северного полушария, высотой до 1 м. Произрастает в арктической и горной тундре, а также на моховых сфагновых или гипновых болотах лесной полосы. Ареал вида охватывает всю территорию Сибири, Урал, Северную Европу. Листовая пластина (ЛП) обладает набором признаков, позволяющих безошибочно идентифицировать данный вид в полевых условиях: размеры не более 2.5 см, тупозубчатый край, округлое или ширококлиновидное основание (Ashburner, McAllister, 2013).

Гибридизация березы карликовой с другими видами берез из секции *Betula* малоизучена, однако представляет интерес как для селекции, так и для понимания эволюционных процессов. Описание межвидовых гибридов березы карликовой с б. пушистой и б. повислой встречается как в отечественной, так и в зарубежной литературе (Цвелев, 2000; Thorsson et al., 2007; Anamthawat-Jónsson et al., 2010).

Впервые гибрид между березами карликовой и повислой описан в 1895 г. как *B. × bottnica* Mela (*B. × fennica* Dörf.) (Князев и др., 2018). Гибрид между березами пушистой и карликовой описан в 1830 г. как *B. intermedia* Thomas ex Gaud. (Чхобадзе и др., 2014; Князев и др., 2018). Для этих гибридных таксонов приводится следующее описание: побеги опушенные или слабо опушенные, покрыты малочисленными железистыми бородавками. Листья мелкие, с неоттянутой верхушкой, на обратной стороне листа бородавки и опушение в углах жилок отсутствуют. Данные гибриды распространены в горных тундрах или подгольцовых криво-лесьях, в местах совместного произрастания родительских видов (Князев и др., 2018; Медведева и др., 2023). Ранее уже выдвигалось предположение о том, что гибридизации способствуют низкие температуры Севера, где чаще отмечаются гибриды, например в лесах Исландии (Thorsson et al., 2007), а на основании результатов анализа пыльцы по профилям торфа – о гибридизации берез карликовой и пушистой в Исландии в период голоцена (Karlsdóttir et al., 2012). Большинство исследовательских работ, описывавших процессы гибридизации между карликовыми и белыми березами, охватывают территорию европейской части ареалов данных видов. При этом на территории РФ гибридов, подтвержденных комплексным

методологическим подходом, ранее не обнаружено. Предпринимались попытки исследования наличия и интенсивности гибридизации березы карликовой, б. пушистой, б. повислой с помощью и молекулярно-генетических маркеров, таких как регионы хлоропластной ДНК (хпДНК) (Palme et al., 2004; Jadwiszczak et al., 2012), ядерные микросателлитные последовательности (Маслов и др., 2019), а также методом проточной цитометрии (Anamthawat-Jónsson et al., 2010). В результате изучения молекулярно-генетической структуры популяций березы карликовой, б. пушистой, б. повислой были выявлены межвидовые гаплотипы, отмеченные для всех трех видов, что указывает на гибридизацию между данными таксонами (Palme et al., 2004; Jadwiszczak et al., 2012). При этом маркеры хпДНК и ядерные микросателлитные последовательности позволяют лишь предположить наличие гибридизации, в отличие от метода проточной цитометрии, точно определяющего гибридную природу отдельно взятого образца, если геномы его родительских форм отличаются по плоидности (Anamthawat-Jónsson et al., 2010).

Цель исследования заключалась в изучении уровня плоидности некоторых образцов берез, произрастающих в горной тундре в Алтайском горном массиве, с помощью метода проточной цитометрии и микросателлитного анализа для выявления возможных триплоидных гибридных форм.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе исследованы образцы березы карликовой, б. повислой и образец березы предположительно гибридной природы, произрастающие на Семинском перевале, а также образцы б. карликовой, собранные в районе с. Онгудай и г. Сарлык в горной тундре Республики Алтай (табл. 1).

Указанные точки сбора материала имели сходный состав наиболее часто встречающихся видов. В первом ярусе доминировала сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour). Кустарнички представлены березой карликовой и ивой прямосережчатой (*Salex rectijulis* Ledeb. ex Trautv.). В травянистом ярусе были отмечены горечавка крупноцветковая (*Gentiana grandiflora* Laxm.), г. Фишера (*G. Fischeri* P. A. Smirn.), фиалка алтайская (*Viola altaica* Ker Gawl.), калужница болотная (*Caltha palustris* L.), дриада острозубчатая (*Dryas oxyodonta* Juz.), водо-



**Таблица 1.** Относительное содержание ДНК и размер генома образцов березы карликовой, б. повислой, б. пушистой

| Образцы                        | Точка сбора       | Географические координаты          | 2С содержание ДНК $\pm SE$ , пг | Предполагаемая плоидность |
|--------------------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Береза карликовая              | Семинский перевал | 51°02'43" с. ш.                    | 0.96 $\pm$ 0.009                | 2х                        |
| Б. повислая                    |                   | 85°36'15" в. д.                    | 0.97 $\pm$ 0.012                | 2х                        |
| Береза – предполагаемый гибрид |                   |                                    | 1.41 $\pm$ 0.009                | 3х                        |
| Б. карликовая                  | с. Онгудай        | 50°44'53" с. ш.<br>86°08'18" в. д. | 0.97 $\pm$ 0.007                | 2х                        |
|                                | г. Сарлык         | 51°04'43" с. ш.<br>85°44'05" в. д. | 0.96 $\pm$ 0.006                | 2х                        |
| Б. пушистая                    | г. Большой Ирмель | 54°32'00" с. ш.<br>58°50'20" в. д. | 1.82 $\pm$ 0.025                | 4х                        |

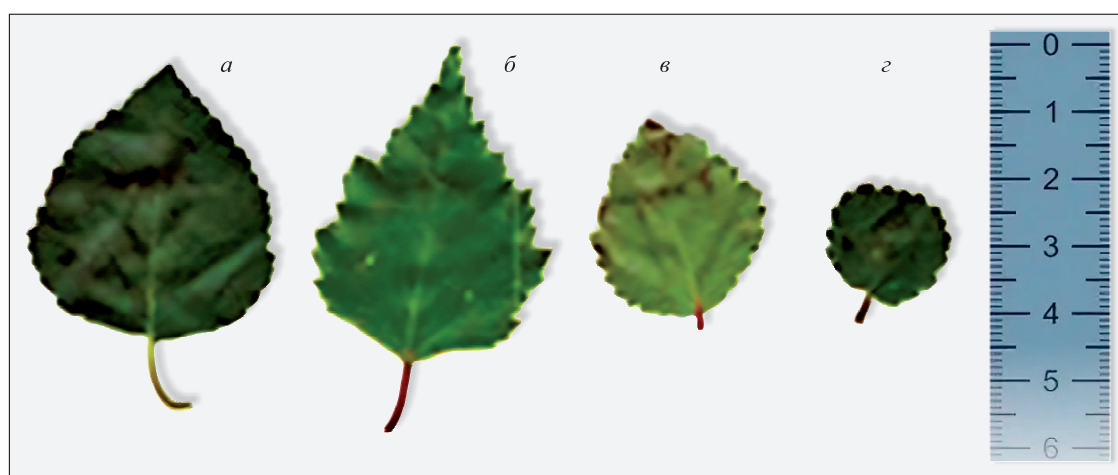
Примечание. SE – стандартная ошибка среднего арифметического значения.

сбор железистый (*Aquilegia glandulosa* Fisch. ex Link), змеголовник крупноцветковый (*Dracosephalum grandiflorum* L.), бадан толстолистный (*Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch), кизильник горизонтальный (*Cotoneaster horizontalis* Decne.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), купальница азиатская (*Trollius asiaticus* L.), лаготис сизый (*Lagotis glauca* Gaertn.), калиантемум алатавский (*Callianthemum alatavicum* Freyn), змеевик большой (*Bistorta officinalis* Delarbre), мытник алтайский (*Pedicularis altaica* Steph. ex Steven), манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris* L.), ветреник косматый (*Anemonastrum crinitum* (Juz.) Holub), кошачья лапка двудомная (*Antennaria dioica* (L.) Gaertn.), осока черноголовая (*Carex melanocephala* Turcz.).

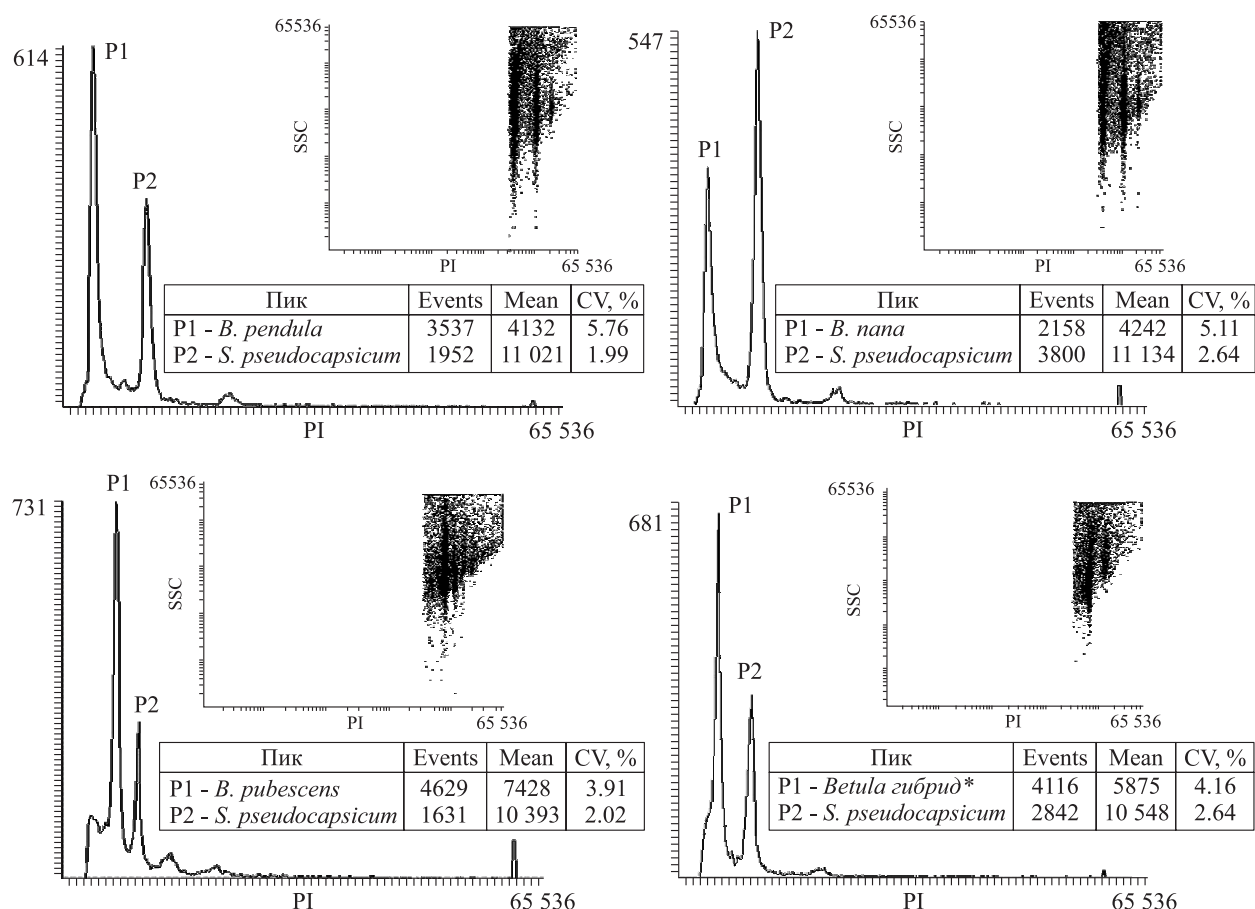
В каждой географической точке собрано по 5–7 побегов березы карликовой и б. повислой на расстоянии 20 м между отдельными растения-

ми для получения максимальной изменчивости, а также 1 образец предполагаемой гибридной природы (рис. 1).

В качестве группы сравнения нами использовались образцы тетраплоидной березы пушистой, собранные на г. Большой Ирмель, Южный Урал. Данный вид не встретился нам по трансекте сбора образцов в Алтайском горном массиве, однако был необходим в исследовании для оценки плоидности методом проточной цитометрии (Galbraith et al., 1997). Независимо от места произрастания береза пушистая имеет тетраплоидный набор и удвоенное содержание ДНК по сравнению с б. карликовой. Гибрид между этими видами имеет промежуточное содержание ДНК (Anamthawat-Jónsson et al., 2010). В качестве внутреннего стандарта использовали паслен ложноперецный (*Solanum pseudocapsicum* L.) с 2С = 2.59 пг (Temsch et al., 2010). Для приготовления суспензии ядер свежие листья образ-



**Рис. 1.** Листовые пластины образцов березы пушистой, г. Большой Ирмель, Южный Урал (а), б. повислой, Семинский перевал, Алтай (б), березы – предполагаемого гибрида, Семинский перевал, Алтай (в), б. карликовой, Семинский перевал, Алтай (г).



**Рис. 2.** Образцы гистограмм, полученных при исследовании относительного содержания ДНК изученных берез. Events – число событий, Mean – среднее пика, CV – коэффициент вариации, %. \* Береза гибрид – исходя из 2С содержания ДНК триплоидный образец предположительно является гибридом березы карликовой и б. пушистой.

цов измельчались с листьями стандарта в 1 мл Tris-MgCl<sub>2</sub> буфера (0.4 M Tris-основание, 4 mM MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.5 % Triton X-100) с добавлением PI (50 мкг/мл), РНКазы (50 мкг/мл) и β-меркаптоэтанола (1 мкл/мл) (Pfosser et al., 1995). Измельченные образцы затем фильтровали через нейлоновый фильтр с размером пор 50 мкм и инкубировали 30 мин при 37 °С. Замеры флуоресценции образцов производили не менее 3 раз с периодичностью одно измерение в сутки, для последующих расчетов брали среднее значение трех измерений. Детекцию пиков флуоресценции проводили при помощи проточного цитометра Partec CyFlow PA (Partec, GmbH) с лазерным источником излучения с длиной волны 532 нм. Для дальнейшей интерпретации данных использовали пики с не менее чем 1000 детектируемых частиц (рис. 2).

Содержание ДНК исследуемых образцов рассчитывали исходя из формулы: содержание ДНК (2С, пг) образца =  $f \times$  содержание ДНК (2С, пг) стандарта, где  $f$  = среднее значение G1 пика образца / среднее значение G1 пика стандарта.

Визуализацию и обработку гистограмм проводили с использованием штатного программного обеспечения проточного цитометра CyView (Partec, GmbH). Расчет содержания ДНК и статистическую обработку проводили методами параметрической статистики в Microsoft Excel 2003. Итоговые данные представляют собой среднюю арифметическую величину и ее стандартную ошибку.

ДНК из образцов выделяли с помощью СТАВ-метода (Doyle J. J., Doyle J. L., 1990). Для проведения микросателлитного анализа использованы семь полиморфных SSR-локусов берез – L 2.3, L 3.4, L 5.4, L 1.10, L 7.3, L 10.1, L 3.1 (Kulju et al., 2004; Truong et al., 2005). Температурный профиль ПЦР состоял из первоначальной денатурации при 94 °С в течение 5 мин, 30 циклов амплификации (денатурация 94 °С – 1 мин, отжиг 57 °С – 75 с, элонгация 1 мин 15 с при 72 °С) и завершающей элонгации 10 мин при температуре 72 °С. Длину амплифицированных фрагментов определяли на генетическом анализаторе Applied Biosystems 3500. Визуализацию

и обработку данных проводили с использованием программы ДНК ФА, стандарт длин S550 (ООО «Синтол», Москва, Россия).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среднее содержание ДНК (2С) у исследованных образцов березы карликовой и б. повислой составило 0.966 и 0.974 пг соответственно (табл. 1). Данные значения свидетельствуют о диплоидном геноме образцов (Anamthawat-Jónsson et al., 2010). Среднее содержание ДНК у образцов березы пушистой составило 1.823 пг, подтверждая их тетраплоидный геном. При этом предполагаемый гибридный образец показал промежуточное между березой карликовой и б. пушистой среднее значение содержания ДНК – 1.413 пг (в 1.46 раз больше, чем у диплоидных образцов березы карликовой), свидетельствующее о его вероятном триплоидном геноме (табл. 1). Согласно практике проточной цитометрии, содержание ДНК триплоидных образцов отличается от диплоидных образцов в 1.3–1.5 раза (Doležel et al., 2007). Полученные нами данные подтверждаются исследованиями, проведенными ранее на территории Европы (Thorsson et al., 2007; Anamthawat-Jónsson et al., 2010; Wang et al., 2016). По опубликованным работам содержание ДНК всех диплоидных видов рода береза находится в узком диапазоне – от 0.88 до 1.08 пг. Тетраплоидные виды берез показывают значение содержания ДНК, кратное 2, относительно диплоидов – от 1.8 до 2.2 пг соответственно. По разным данным, содержание ДНК березы карликовой составляет от 0.91 до 1.0 пг, у б. пушистой – от 1.79 до 2.01 пг. Были выявлены триплоидные гибриды между березой карликовой и б. пушистой со средним промежуточным содержанием ДНК 1.36 пг

(Anamthawat-Jónsson et al., 2010; Wang et al., 2016). При этом в России у берез определено только число хромосом (Агапова и др., 1990). Метод подсчета хромосом у берез – достаточно трудоемкий в связи с их малыми размерами, поэтому проточная цитометрия представляется авторам наиболее удобной и перспективной для поиска гибридов.

Данные проточной цитометрии были дополнены микросателлитным анализом. Изучение микросателлитных спектров образцов показало, что наибольшим аллельным разнообразием характеризуются локусы L3.1, L7.3, L1.10, L5.4 (табл. 2).

Данные локусы выявили наличие трех аллелей у гибридного образца, при этом пики данных аллелей имели одинаковую интенсивность флуоресценции, что подтверждает триплоидность его генома, выявленную с помощью метода проточной цитометрии (рис. 3).

Таким образом, ядерные локусы L3.1, L7.3, L1.10, L5.4 в наибольшей степени подходят для выявления триплоидных гибридов берез. Отдельные образцы березы карликовой и б. повислой имели до двух пиков одинаковой интенсивности флуоресценции по всем локусам (в соответствии с их диплоидным геномом).

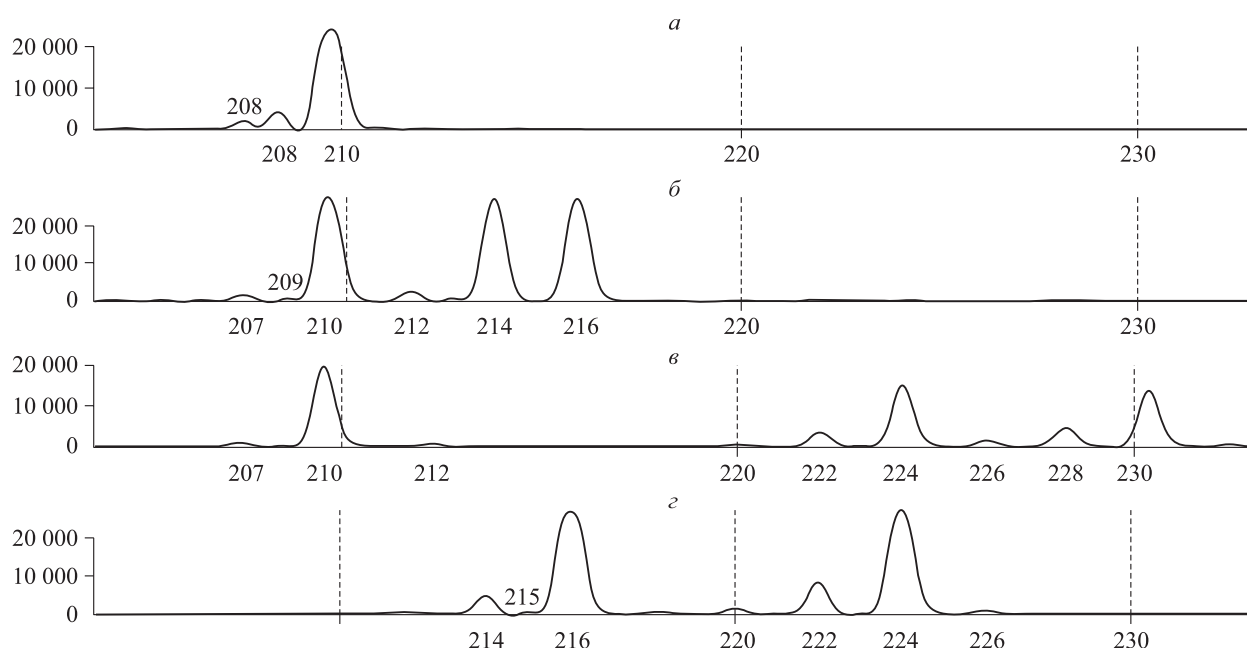
Микросателлитный спектр отдельных образцов березы пушистой соответствовал тетраплоидному геному: выявлено до четырех пиков, в случае трех пиков их интенсивность флуоресценции различалась (один пик имел большую интенсивность флуоресценции, чем два других) (рис. 3).

В литературе описано присутствие триплоидных гибридов березы карликовой и б. пушистой в популяциях б. карликовой. При этом отмечается, что в некоторых популяциях, произрастающих в горных районах, гибридные растения не обнаружены вовсе (Thorsson et al., 2007;

**Таблица 2.** Разнообразие микросателлитных локусов у исследованных образцов

| Вид                          | Точка сбора       | Общее число выявленных аллелей* |         |         |         |         |         |         |
|------------------------------|-------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                              |                   | L 2.3                           | L 3.4   | L 5.4   | L 1.10  | L 7.3   | L 10.1  | L 3.1   |
| Береза карликовая            | Семинский перевал | 2                               | 2       | 3       | 4       | 2       | 2       | 1       |
| Б. повислая                  | Там же            | 2                               | 3       | 2       | 3       | 3       | 1       | 4       |
| Береза гибрид                | »                 | 1                               | 2       | 3       | 3       | 3       | 2       | 3       |
| Б. пушистая                  | г. Большой Ирмель | 2                               | 2       | 3       | 4       | 4       | 4       | 4       |
| Длина ПЦР продукта,<br>п. н. |                   | 197–203                         | 251–269 | 240–270 | 167–193 | 187–219 | 232–263 | 210–230 |

\* Отдельные образцы березы карликовой и б. повислой имели не более двух аллелей по всем локусам, б. пушистой – не более четырех.



**Рис. 3.** Пики флуоресценции SSR-локуса L 3.1.

*а* – береза карликовая, Семинский перевал; *б* – гибридный образец березы; *в* – б. пушистая, г. Большой Ирмель; *г* – б. повислая, Семинский перевал, указанные значения соответствуют длине фрагмента (в п. н.).

Anamthawat-Jónsson et al., 2010). Собранные в Алтайском горном массиве образцы березы карликовой и б. повислой оказались диплоидными, исходя из полученных данных о содержании ДНК (диапазон варьирования 2С содержания ДНК составил 0.998–0.959 пг). При этом лишь один образец показал содержание ДНК, промежуточное между диплоидным и тетраплоидным геномом (1.413 пг). Триплоидная природа образца, подтвержденная также анализом ядерных микросателлитных локусов, может быть следствием гибридизации с березой пушистой, которая не встретила нам в ходе сбора материала по заложенной трансекте. По литературным данным, этот вид произрастает вблизи Семинского перевала, и, следовательно, может быть одной из родительских форм для обнаруженного гибрида (Ревушкин, 1988). Малочисленность гибридов позволяет предположить, что гибридизация между березой карликовой и б. пушистой – явление редкое и, вероятно, чаще встречается в более северных районах Западной Евразии. Эта гипотеза согласуется с ранее выдвинутыми предположениями о том, что гибридизация берез более распространена на севере по сравнению с югом в связи с коротким периодом вегетации, нивелирующим межвидовые фенологические различия, что увеличивает возможность скрещиваний симпатрических видов (Hampe et al., 2005; Wang et al., 2016; Cherepanova et al., 2024).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами данные свидетельствуют о существовании триплоидных гибридов березы карликовой и б. пушистой в популяциях карликовых берез, произрастающих в лесном массиве горной тундры на Алтае. Проведенный анализ показывает, что метод проточной цитометрии в сочетании с микросателлитным анализом является эффективным инструментом для поиска и верификации триплоидных гибридов берез.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (РНФ) (грант № 23-24-00598).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агапова Н. Д., Архарова К. Б., Вахтина Л. И., Земскова Е. А., Тарвис Л. В. Числа хромосом цветковых растений флоры СССР: семейства Aceraceae – Menyanthaceae. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 233 с.
- Князев М. С., Третьякова А. С., Подгаевская Е. Н., Золотарева Н. В., Куликов П. В. Конспект флоры Свердловской области. Ч. III: Двудольные растения (Aristolochiaceae – Monotropaceae) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2018. Т. 12. № 2. С. 4–95.
- Маслов А. А., Баранов О. Ю., Сирин А. А. Идентификация видов берез в заболоченных лесах центра Русской равнины по результатам молекулярно-генетического анализа // Лесоведение. 2019. № 3. С. 177–187.
- Медведева С. О., Черепанова О. Е. Таксономические вопросы рода *Betula* // Сиб. лесн. журн. 2023. № 2. С. 65–75.



- Медведева С. О., Черепанова О. Е., Филиппов Е. Г., Копориков А. Р. Использование ITS-маркеров для определения видовой принадлежности берез секции *Arterocaryon* // Пробл. ботаники Юж. Сибири и Монголии. 2023. Т. 22. № 2. С. 187–190.
- Ревушкин А. С. Высокогорная Флора Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. 320 с.
- Цвелев Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб.: СПХФА, 2000. 782 с.
- Чхобадзе А. Б., Филиппов Д. А., Леваишв А. Н. Сосудистые растения Вологодской части Андомской возвышенности // Фиторазнообразие Вост. Европы. 2014. Т. 8. № 1. С. 20–42.
- Anamthawat-Jónsson K., Thórsson T., Temsch E. M., Greilhuber J. Icelandic birch polyploids – the case of a perfect fit in genome size // J. Bot. 2010. V. 2. Article 347254. 9 p.
- Ashburner K., McAllister H. A. The genus *Betula*: A taxonomic revision of birches. L.: Royal Bot. Gardens, Kew, 2013. 432 p.
- Cherepanova O., Medvedeva S., Filippov E., Skaptsov M., Ivchenko T., Teptina A. Biodiversity evolution of a shrub *Betula nana* L. populations in the Urals // Int. J. For. Res. 2024. V. 2024. Iss. 1. Article 2644583. 14 p.
- Doležel J., Greilhuber J., Suda J. Estimation of nuclear DNA content in plants using flow cytometry // Nat. Protoc. 2007. V. 2. Iss. 9. P. 2233–2244.
- Doyle J. J., Doyle J. L. Isolation of plant DNA from fresh tissue // Focus. 1990. V. 12. N. 1. P. 13–15.
- Ellstrand N. C., Whitkus R., Rieseberg L. H. Distribution of spontaneous plant hybrids // PNAS. 1996. V. 93. Iss. 10. P. 5090–5093.
- Furlow J. The genera of Betulaceae in the southeastern United States // J. Arnold Arboret. 1990. V. 71. N. 1. P. 1–67.
- Galbraith D. W., Lambert G. M., Macas J., Dolezel J. Analysis of nuclear DNA content and ploidy in higher plants // Curr. Protocols in Cytometry. 1997. V. 2. Iss. 1. Chapter 7 (1). Unit 7.6. Article cy0706s02.
- Hampe A., Petit R. J. Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters // Ecol. Lett. 2005. V. 8. Iss. 5. P. 461–467.
- Jadwiszczak K., Banaszek A., Jablonska E., Sozinov O. V. Chloroplast DNA variation of *Betula humilis* Schrank. in Poland and Belarus // Tree Genet. Genom. 2012. V. 8. Iss. 5. P. 1017–1030.
- Karlsdóttir L., Hallsdóttir M., Thorsson A., Anamthawat-Jonsson K. Early Holocene hybridisation between *Betula pubescens* and *B. nana* in relation to birch vegetation in Southwest Iceland // Rev. Palaeobot. Palynol. 2012. V. 181 (G 3). P. 1–10.
- Koropachinskiy I. Yu. North Asian woody plants. In 2 vol. Novosibirsk: GEO Acad. Publ., 2015. V. 1: Taxaceae – Rosaceae, 527 p.; V. 2: Fabaceae – Asteraceae, 391 p.
- Kulju K. K. M., Pekkinen M., Varvio S. Twenty-three microsatellite primer pairs for *Betula pendula* (Betulaceae) // Molecul. Ecol. Notes. 2004. V. 4. Iss. 3. P. 471–473.
- Palmé A. E., Su Q., Palsson S., Lascoux M. Extensive sharing of chloroplast haplotypes among European birches indicates hybridization among *Betula pendula*, *B. pubescens* and *B. nana* // Molecul. Ecol. 2004. V. 13. Iss. 1. P. 167–178.
- Peñalba J., Runemark A., Meier J., Singh P., Wogan G., Sánchez-Guillén R., Mallet J., Rometsch S., Menon M., Seehausen O., Kulmuni J., Pereira R. The role of hybridization in species formation and persistence // Cold Spring Harbor Perspectives in Biol. 2024. V. 16. Iss. 3. Article a041445. 24 p.
- Pfossner M., Amon A., Lelle T., Heberle-Bors E. Evaluation of sensitivity of flow cytometry in detecting aneuploidy in wheat using disomic and ditelosomic wheat-rye addition lines // Cytometry. 1995. V. 21. Iss. 4. P. 387–393.
- Schley R. J., Twyford A. D., Pennington R. T. Hybridization: a ‘double-edged sword’ for Neotropical plant diversity // Bot. J. Linnean Soc. 2022. V. 199. Iss. 1. P. 331–356.
- Temsch E. M., Greilhuber J., Krisai R. Genome size in liverworts // Preslia. 2010. V. 82. P. 63–80.
- Thorsson A. E., Th., Palsson S., Sigurgeirsson A., Anamthawat-Jonsson K. Morphological variation among *Betula nana* (diploid), *B. pubescens* (tetraploid) and their triploid hybrids in Iceland // Ann. Bot. 2007. V. 99. Iss. 6. P. 1183–1193.
- Truong C., Palmé A. E., Felber F., Naciri-Graven Y. Isolation and characterization of microsatellite markers in the tetraploid birch, *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* // Molecul. Ecol. Notes. 2005. V. 5. Iss. 1. P. 96–98.
- Wang N., McAllister H. A., Bartlett P. R., Buggs R. J. A. Molecular phylogeny and genome size evolution of the genus *Betula* (Betulaceae) // Ann. Bot. 2016. V. 117. Iss. 6. P. 1023–1035.

## ANALYSIS OF DNA CONTENT AND NUCLEAR MICROSATELLITE LOCI OF SOME *Betula* L. REPRESENTATIVES

S. O. Medvedeva<sup>1</sup>, O. E. Cherepanova<sup>1</sup>, E. G. Filippov<sup>1</sup>, A. Yu. Teptina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Ural Branch  
8 March str., 202a, Yekaterinburg, 620144 Russian Federation

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin  
Mira str., 19, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation

---

E-mail: so.medvedeva@gmail.com, Botgarden.olga@gmail.com, Filorch@mail.ru, aseptina@gmail.com

Dwarf birch (*Betula nana* L.) is a circumpolar low shrub common in the northern hemisphere. Previously, it was suggested that dwarf birch hybridize with a sympatric species – the downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.), with the formation of triploid hybrids in the northern regions of Western Eurasia. Data on the presence and intensity of these species hybridization on the territory of the Russian Federation are scarce and require additional study and verification. The purpose of this study was to study the ploidy level of some birch representatives growing in the mountain tundra of the Altai Mountain range to identify hybrid forms. The work used the flow cytometry method in combination with the analysis of nuclear microsatellite loci. The average DNA content of the studied dwarf birch and silver birch (*B. pendula* Roth) samples was  $2C = 0.966$  pg and  $2C = 0.974$  pg correspondingly, while DNA content of the putative hybrid sample was 1.46 times higher  $2C = 1.413$  pg, indicating its probable triploid genome. Analysis of nuclear microsatellite loci confirmed the data obtained by flow cytometry. It was shown that nuclear loci L3.1, L7.3, L1.10, L5.4 are most suitable for identifying triploid hybrid birch samples. The work performed confirms the existence of rare triploid hybrids dwarf birch and downy birch in populations of dwarf birch trees growing in the mountain tundra forest in Altai. The analysis shows that the flow cytometry method in combination with microsatellite analysis is an effective tool for searching and verifying triploid birch hybrids.

**Keywords:** hybridization, dwarf birch, genome size, DNA content, fragment analyses.

**How to cite:** Medvedeva S. O., Cherepanova O. E., Filippov E. G., Teptina A. Yu. Analysis of DNA content and nuclear microsatellite loci of some *Betula* L. representatives // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 44–51 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*52:630\*174.754

## ЗАВИСИМОСТЬ ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА СТВОЛА ОТ ТАКСАЦИОННЫХ И БИОПРОДУКЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРЕВЬЕВ В СОСНЯКАХ ТУРГАЙСКОГО ПРОГИБА

**В. А. Усольцев<sup>1, 2</sup>**<sup>1</sup> Ботанический сад УрО РАН  
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а<sup>2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

E-mail: Usoltsev50@mail.ru

Поступила в редакцию 17.07.2024 г.

Развитие экологии предполагает возможность прогнозирования экологических функций растений на основе их функциональных признаков, в частности удельной площади листьев как отношения площади поверхности листьев к их сухой массе (SLA) и поверхностной плотности листьев (LMA) как величины, обратной SLA. Однако установлено, что на глобальном уровне SLA объясняет только 3.1 % изменчивости прироста деревьев в высоту. Введение и использование интегрального продукционного признака  $M_p$  как произведения LMA на площадь горизонтальной проекции кроны показало, что объяснение изменчивости прироста стволов деревьев на уровне 125 видов повысилось до 31 %, но в то же время не выявило его преимуществ в объяснительной способности изменчивости прироста по сравнению с диаметром ствола. Цель настоящего исследования – выяснить, в каком соотношении при моделировании прироста стволов деревьев может состоять объяснительная способность продукционного показателя и совокупности таксационных признаков, таких как диаметр ствола, высота и возраст дерева. Для этого по данным 300 модельных деревьев, взятых на 30 пробных площадях в чистых сосняках Тургайского прогиба, рассчитана последовательность аллометрических моделей в разном сочетании зависимых и независимых переменных. Вследствие слишком высокой трудоемкости определения SLA с достаточной точностью у 300 деревьев в качестве продукционного показателя использовано частное от деления массы хвои на площадь горизонтальной проекции кроны ( $P_f/S_c$ ). Данный продукционный показатель имеет биологический смысл, несколько отличающийся от  $M_p$ , но в информационном отношении не уступает последнему. Установлено, что при расчете многофакторной зависимости прироста площади сечения ствола за последние 10 лет от  $P_f/S_c$  и таксационных показателей деревьев, вклад  $P_f/S_c$  в объяснение изменчивости прироста составил всего 6 % и был исключен из анализа. В итоге предложена двухфакторная аллометрическая зависимость прироста площади сечения ствола за 10 лет от возраста и диаметра ствола, объясняющая 91 % изменчивости прироста. Предложенная модель дает возможность определять прирост площади сечения древостоя в одновозрастных сосняках по результатам перечета деревьев по ступеням толщины.

**Ключевые слова:** функциональные признаки деревьев, таксационные показатели деревьев, прирост деревьев по площади сечения, объяснительная способность, аллометрические модели.

DOI: 10.15372/SJFS20240607

### ВВЕДЕНИЕ

Прогнозирование экологических функций растений на основе их функциональных признаков имеет важное значение для развития экологии (Shipley et al., 2016; Volaire et al., 2020; Laurans et al., 2024). К функциональным признакам относят морфологические, физио-

логические или фенологические признаки растений, которые прямо или косвенно влияют на их рост, размножение и/или выживание (Violle et al., 2007). Экологический подход, основанный на функциональных признаках, направлен на обобщение и прогнозирование экологических явлений в различных структурных и пространственных масштабах (Klipel et al., 2024). Ис-

пользование функциональных признаков дает возможность масштабирования процессов от уровней дерева или вида до уровня насаждения и лесной экосистемы в целом (Shipley et al., 2016; Chacón-Labela et al., 2023). Функциональные признаки растений, в частности удельная площадь листьев (отношение площади поверхности листьев к их сухой массе, SLA), поверхностная плотность листьев ( $LMA = 1 : SLA$ ) (Уткин и др., 2008), плотность древесины и максимальная высота растения, часто являются показателями скорости роста отдельных деревьев в сообществах (Lebrija-Trejos et al., 2016; Poorter et al., 2019). Особи и виды с высокой SLA и низкой плотностью древесины, как правило, имеют более высокие темпы роста (Paine et al., 2015). Однако проверка влияния функциональных признаков на продуктивность насаждений показала слабую связь главным образом из-за сильной зависимости от местных условий (Paine et al., 2015; Liu et al., 2016; Poorter et al., 2018). Эта проблема обусловлена также сложностью всей истории жизни растений, которую невозможно адекватно описать с помощью одной или двух простых связей (Klipel et al., 2024).

По данным 27.3 тыс. деревьев 278 видов, полученным на всех покрытых лесах континентах, установлено, что SLA объясняет только 3.1 % изменчивости прироста в высоту (Paine et al., 2015). Аналогичным образом проведено детальное изучение деревьев на лесном участке площадью 50 га в Барро-Колорадо на острове Айленд в Панаме и обнаружено, что LMA объясняет менее 8 % изменчивости прироста в высоту. При этом названный показатель составил 18–24 % у молодых и 1.7–6.7 % у спелых деревьев, что свидетельствует о снижении вклада функциональных признаков в объяснение изменчивости ростовых показателей по мере увеличения возраста деревьев (Wright et al., 2010).

Для понимания функциональных стратегий растений важна информация об архитектурных особенностях деревьев, в частности о размере кроны (Falster et al., 2011; Iida et al., 2014; Klipel et al., 2024; Owen, Lines, 2024), определяющей степень перехвата солнечной радиации, они связаны с темпами роста деревьев (Liu et al., 2016) и в глобальном масштабе влияют на способность конкурировать за пространство роста и определяют компромисс между максимальным поглощением света и отложением ассимилятов в кроне (Maynard et al., 2022).

С учетом сказанного для лучшего объяснения варьирования скорости роста деревьев был

введен интегральный показатель, объединяющий функциональный признак на уровне органа растения (LMA) и площадь горизонтальной проекции кроны (далее – площадь кроны) как характеристику на уровне всего растения (Rubio et al., 2021). Произведение двух названных признаков ( $Mr$ ), а также площадь кроны, поверхностная плотность листьев и диаметр ствола на высоте груди были проанализированы по данным 111 деревьев в Пуэрто Рико в связи с относительным приростом диаметра ствола. Оказалось, что каждый из них в отдельности вносит один и тот же вклад в объяснение изменчивости прироста (индекс Акайке 28.4–28.5) (Rubio et al., 2021). С другой стороны, по данным 1144 деревьев 125 видов, представляющих 41 ботаническое семейство, вклад LMA в объяснение изменчивости прироста по диаметру ствола оказался статистически незначим, тогда как произведение LMA на площадь кроны (т. е.  $Mr$ ) объясняло 31 % изменчивости прироста диаметра ствола (Klipel et al., 2024). Еще в одном исследовании по четырем видам Китая показано, что изменчивость относительной скорости роста деревьев объясняется уровнем LMA от 0.1 до 12 %, тогда как значением  $Mr$  – от 31 до 82 % (Yang et al., 2018).

Таким образом, функциональные признаки (продукционные показатели) SLA и LMA сильно варьируют как в пределах кроны отдельного дерева, так и у деревьев разной степени угнетения в пологе (Klipel et al., 2024). Рассмотрение LMA в контексте архитектуры кроны, т. е. на уровне  $Mr$ , не дает однозначного повышения его вклада в объяснение изменчивости показателей скорости роста деревьев (Rubio et al., 2021). Получение значений продукционных показателей SLA, LMA,  $Mr$  в реальных условиях, на региональном уровне охватывающих большой диапазон возраста и размеров деревьев, довольно трудоемко. Вследствие невозможности определения SLA и  $Mr$  с достаточной точностью в больших совокупностях деревьев, в настоящем анализе мы заменяем их другим продукционным показателем – отношением массы листвы (хвои) к площади кроны ( $P_f/S_c$ ).

Цель настоящего исследования – выяснить, в каком соотношении при моделировании прироста стволов деревьев может состоять объяснительная способность продукционного показателя  $P_f/S_c$  и совокупности таксационных признаков, таких как диаметр ствола, высота и возраст дерева.



## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в бору Аман-Карагай в условиях сухой степи Тургайского прогиба (53°10' с. ш., 64°00' в. д.), где в чистых сосновых насаждениях было заложено 30 пробных площадей. Согласно выполненной таксации, возраст древостоев составил 13–110 лет, средний диаметр 1.7–27.0 см, средняя высота 2.7–23.0 м, густота 0.40–82.4 тыс. экз./га, класс бонитета Ia–Va. На каждой пробной площади взято по 10 модельных деревьев в диапазоне их диаметров. До валки дерева мерной лентой измеряли диаметр кроны в двух перпендикулярных направлениях, после валки – длину ствола и выпи-ливали диск на расстоянии 1.3 м от пня (высоты груди), затем в лабораторных условиях измеряли в перпендикулярных направлениях диаметры диска в коре и без коры, а также с помощью измерительного микроскопа радиальные приросты, средние за 5 и 10 лет, в четырех направлениях. По ним для каждого дерева рассчитывали средние значения радиального прироста и прироста площади сечения ствола за 5 и 10 лет. Крону делили на три секции вдоль по стволу, у каждой секатором обрезали охвоенные побеги, взвешивали, затем брали навеску массой около 1 кг и отделяли хвою. После сушки навесок хвои

в термостате определяли ее массу в абсолютно сухом состоянии и по соотношению масс хвои и побегов в навеске рассчитывали массу хвои каждой секции кроны и дерева в целом. Характеристика полученных данных по 300 модельным деревьям представлена в табл. 1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием исходных данных (см. табл. 1) рассчитана последовательность аллометрических моделей в разном сочетании зависимых и независимых переменных. На первом этапе построены парные зависимости каждого из приростов как с продукционным показателем  $P_f/S_c$ , так и с диаметром ствола на высоте груди как наиболее информативным таксационным показателем (табл. 2).

$$\ln(Z) = a_0 + a_1 \ln(P_f/S_c); \quad (1)$$

$$\ln(Z) = a_0 + a_1 \ln(D). \quad (2)$$

По данным табл. 2 можно сделать вывод, что изменчивость радиальных приростов в большей степени объясняется продукционным показателем (28–33 %) нежели диаметром ствола (7–8 %). В отношении изменчивости приростов по площади сечения ствола столь большой раз-

**Таблица 1.** Биопродукционные показатели 300 модельных деревьев

| Обозначение          | Показатель                                                                                | Значение  |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>A</i>             | Возраст дерева, лет                                                                       | 9–110     |
| <i>D</i>             | Диаметр ствола на высоте груди в коре, см                                                 | 0.34–34.5 |
| <i>H</i>             | Высота дерева, м                                                                          | 1.6–26.1  |
| <i>P<sub>f</sub></i> | Масса хвои дерева в абсолютно сухом состоянии, кг                                         | 0.02–17.8 |
| <i>S<sub>c</sub></i> | Площадь горизонтальной проекции кроны, м <sup>2</sup>                                     | 0.1–14.9  |
| <i>Z5</i>            | Годичные радиальные приросты ствола на высоте груди, средние за 5 лет, мм                 | 0.1–6.5   |
| <i>Z10</i>           | То же, за 10 лет, мм                                                                      | 0.1–6.2   |
| <i>Zs5</i>           | Приросты по площади сечения ствола на высоте груди, накопленные за 5 лет, см <sup>2</sup> | 0.03–13.1 |
| <i>Zs10</i>          | То же, за 10 лет, см <sup>2</sup>                                                         | 0.02–18.8 |

**Таблица 2.** Зависимость прироста ствола от продукционных показателей и диаметра ствола (модели 1 и 2)

| Прирост<br>$\ln(Z)$ | $Z = f(P_f/S_c)$ |        |          |      | $Z = f(D)$ |        |          |      |
|---------------------|------------------|--------|----------|------|------------|--------|----------|------|
|                     | $a_0$            | $a_1$  | $adjR^2$ | $SE$ | $a_0$      | $a_1$  | $adjR^2$ | $SE$ |
| $\ln(Z5)$           | 0.2944           | 0.4103 | 0.331    | 0.81 | –0.5745    | 0.3405 | 0.069    | 0.97 |
| $\ln(Z10)$          | 0.6253           | 0.3488 | 0.281    | 0.78 | –0.2193    | 0.3349 | 0.079    | 0.89 |
| $\ln(Zs5)$          | 1.6318           | 1.2543 | 0.612    | 0.91 | –1.8874    | 1.3382 | 0.573    | 0.94 |
| $\ln(Zs10)$         | 1.9889           | 1.1553 | 0.548    | 0.96 | –1.5773    | 1.3534 | 0.620    | 0.87 |

*Примечание.* В свободный член  $a_0$  введена поправка на логарифмирование  $(SE)^2/2$  (Baskerville, 1972);  $adjR^2$  – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных;  $SE$  – стандартная ошибка уравнения.

**Таблица 3.** Зависимость прироста ствола от продукционных и таксационных показателей (модель 3)

| Прирост $\ln(Z)$ | $Z = f(P_f/S_c, A, D, H)$ |        |         |        |         |          |      |
|------------------|---------------------------|--------|---------|--------|---------|----------|------|
|                  | $a_0$                     | $a_1$  | $a_2$   | $a_3$  | $a_4$   | $adjR^2$ | $SE$ |
| $\ln(Z5)$        | 3.6862                    | 0.2032 | -1.2507 | 1.0062 | -0.8347 | 0.743    | 0.50 |
| $\ln(Z10)$       | 4.1504                    | 0.0632 | -1.4886 | 1.0720 | -0.6172 | 0.820    | 0.39 |
| $\ln(Zs5)$       | 2.1523                    | 0.3492 | -1.1269 | 1.9917 | -0.8379 | 0.885    | 0.49 |
| $\ln(Zs10)$      | 2.5938                    | 0.1205 | -1.4216 | 2.0514 | -0.5560 | 0.920    | 0.40 |

ницы в объяснительной способности продукционного и таксационного показателя нет, и она практически отсутствует, составляя соответственно 55–61 и 57–62 %.

На следующем этапе анализируем многофакторные зависимости приростов ( $Z$ ) от продукционного и таксационных показателей (табл. 3) согласно модели

$$\ln(Z) = a_0 + a_1 \ln(P_f/S_c) + a_2 \ln(A) + a_3 \ln(D) + a_4 \ln(H). \quad (3)$$

Все регрессионные коэффициенты в моделях 3 значимы на уровне вероятности  $p < 0.01$ , однако вклады продукционного показателя и высоты дерева в объяснение изменчивости приростов оказались наименьшими. Фактические вклады продукционного показателя, высоты дерева и возраста с диаметром ствола в объяснение изменчивости приростов составили соответственно для  $Z5$  – 19, 15 и 66 %; для  $Z10$  – 6, 12 и 82 %, для  $Zs5$  – 17, 12 и 71 %, для  $Zs10$  – 6, 9, 85 %.

Поскольку переменные  $P_f/S_c$  и  $H$  вносят наименьшие вклады в объяснение изменчивости приростов, (особенно для  $Zs10$  – всего 15 %), названные две независимые переменные исключены из анализа и рассчитаны модели окончательного вида:

$$\ln(Z) = a_0 + a_1 \ln(A) + a_2 \ln(D). \quad (4)$$

Характеристика полученных расчетом моделей приведена в табл. 4.

**Таблица 4.** Зависимость прироста от возраста и диаметра ствола (модель 4)

| Прирост $\ln(Z)$ | $Z = f(A, D)$ |         |        |          |      |
|------------------|---------------|---------|--------|----------|------|
|                  | $a_0$         | $a_1$   | $a_2$  | $adjR^2$ | $SE$ |
| $\ln(Z5)$        | 3.9492        | -1.7647 | 0.7930 | 0.688    | 0.56 |
| $\ln(Z10)$       | 4.2958        | -1.7612 | 0.7875 | 0.804    | 0.41 |
| $\ln(Zs5)$       | 2.4979        | -1.7495 | 1.8399 | 0.852    | 0.56 |
| $\ln(Zs10)$      | 2.7820        | -1.7383 | 1.8520 | 0.912    | 0.42 |

Модели действительны в диапазонах фактических данных  $A$  и  $D$  (см. табл. 1).

Используемый в данном исследовании продукционный показатель  $P_f/S_c$  представляет массу хвои, приходящуюся на единицу площади кроны, его можно назвать поверхностной плотностью хвои на уровне дерева. Продукционный показатель  $M_p$  представлен, как ранее упоминалось, поверхностной плотностью хвои на уровне органа, экстраполированной до уровня дерева умножением на площадь кроны. Безусловно, биологический смысл продукционных показателей  $M_p$  и  $P_f/S_c$  различается, но в данном исследовании важен не столько их биологический контекст, сколько информативность в отношении прироста деревьев.

Как было упомянуто выше, в субтропиках Пуэрто Рико (Rubio et al., 2021) при анализе парных связей прироста по диаметру ствола с  $M_p$  и  $D$  обе независимые переменные показали одинаковую объяснительную способность. Согласно нашим моделям 1 и 2 (см. табл. 2), в отношении радиальных приростов продукционный показатель  $P_f/S_c$  по сравнению с диаметром ствола показал 4-кратное преимущество в информационном отношении, а в отношении приростов площади сечения их информативность практически одна и та же. Можно заключить, что информативность  $P_f/S_c$  в отношении приростов ствола, по крайней мере, не ниже, чем  $M_p$ .

В Пуэрто Рико прирост по диаметру определен за 15-летний период на постоянной пробной площади, а в нашем исследовании древо-стои представлены возрастным спектром от 9 до 110 лет, с существенным варьированием цено-тических (густота от 0.40 до 82.4 тыс. экз./га) и эдафических (класс бонитета от Ia до Va) условий. Соответственно, при дополнительном включении в модели 1 и 2 возраста и высоты деревьев, таксационные показатели в модели 3 взяли на себя основную долю варьирования возрастной, цено-тической и эдафической изменчивости прироста.

Судя по результатам расчета модели 4 (табл. 4), наиболее перспективной при моделировании прироста ствола оказалась зависимость  $Zs_{10}$  от возраста и диаметра ствола, объясняющая 91 % изменчивости прироста. При этом вклады возраста и диаметра ствола в объяснение изменчивости прироста составили соответственно 36 и 64 %. Функционал библиотеки Statsmodels (2024) применен для расчета коэффициента инфляции дисперсии (VIF). Установлено, что VIF переменных  $A$  и  $D$  составил 3.6, что ниже значения VIF, равного 5, допускаемого при умеренной корреляции признаков (Репина и др., 2019). Следовательно, модель 4 для прироста площади сечения ствола можно характеризовать умеренным ( $VIF < 5$ ) уровнем корреляции возраста и диаметра ствола, поскольку, как ранее упоминалось (Цепордей и др., 2024), полной ортогональности или полного отсутствия мультиколлинеарности при моделировании природных объектов достичь практически невозможно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по фактическим данным 300 модельных деревьев, взятых на 30 пробных площадях в чистых одновозрастных сосняках в Тургайском прогибе в условиях сухой степи, выполнен анализ прироста стволов деревьев в связи с их продукционным и таксационными показателями. Продукционный показатель представлен отношением массы хвои к площади горизонтальной проекции кроны, а таксационные показатели – возрастом, диаметром ствола и высотой дерева.

Установлено, что из включенных в анализ четырех показателей прироста наибольшую адекватность исходным данным показал прирост площади сечения ствола за последние 10 лет. При включении в многофакторную модель названного прироста в качестве независимых переменных продукционного и таксационных показателей оказалось, что продукционный показатель объясняет всего 6 %, а высота дерева – 9 % изменчивости прироста.

В итоге предложена зависимость прироста площади сечения ствола за последние 10 лет от возраста и диаметра ствола, характеризуемая коэффициентом детерминации 0.912. Вклады возраста дерева и диаметра ствола в объяснение изменчивости прироста составили соответственно 36 и 64 %, а коэффициент инфляции дисперсии (VIF) оказался равным 3.6, что ниже значения 5,

допускаемого при умеренной взаимной корреляции независимых переменных.

Предложенная модель может быть использована при моделировании прироста площади сечения стволов на уровне древостоев в сосняках степной зоны. В одновозрастных древостоях для этого достаточно выполнить пересчет деревьев по ступеням толщины и табулировать предложенную модель по значениям возраста и диаметра ствола.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Репина Е. Г., Цыпин А. П., Зайчикова Н. А., Ширнаева С. Ю. Эконометрика в табличном редакторе MS Excel: практикум. Самара: Самар. гос. экон. ун-т, 2019.
- Уткин А. И., Ермолова Л. С., Уткина И. А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. М.: Наука, 2008. 292 с.
- Цепордей И. С., Усольцев В. А., Норицин Д. В. Сопряженность климатических показателей в широтном градиенте при моделировании фитомассы лесобразующих видов Евразии // Сиб. лесн. журн. 2024. № 1. С. 40–48.
- Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Can. J. For. Res. 1972. V. 2. N. 1. P. 49–53.
- Chacón-Labelle J., Hinojo-Hinojo C., Bohner T., Castorena M., Violle C., Vandvik V., Enquist B. J. How to improve scaling from traits to ecosystem processes // Trends Ecol. Evol. 2023. V. 38. P. 228–237.
- Falster D. S., Brännström Å., Dieckmann U., Westoby M. Influence of four major plant traits on average height, leaf-area cover, net primary productivity, and biomass density in single-species forests: A theoretical investigation // J. Ecol. 2011. V. 99. P. 148–164.
- Iida Y., Poorter L., Sterck F., Kassim A. R., Potts M. D., Kubo T., Takashi S. K. Linking size-dependent growth and mortality with architectural traits across 145 co-occurring tropical tree species // Ecology. 2014. V. 95. N. 2. P. 353–363.
- Klipel J., da Cunha Morales D., Bordin K. M., Picoletto R. C., Bergamin R. S., Müller S. C. The role of tree crown on the performance of trees at individual and community levels: whole-phenotypic context matters // Plant Ecol. 2024. (preprint).
- Laurans M., Munoz F., Charles-Dominique T., Heuret P., Fortunel C., Isnard S., Sabatier S.-A., Caraglio Y., Violle C. Why incorporate plant architecture into trait-based ecology? // Trends Ecol. Evol. 2024. V. 39. N. 6. P. 524–536.
- Lebrija-Trejos E., Reich P. B., Hernández A., Wright S. J. Species with greater seed mass are more tolerant of conspecific neighbours: a key driver of early survival and future abundances in a tropical forest // Ecol. Lett. 2016. V. 19. P. 1071–1080.
- Liu X., Swenson N. G., Lin D., Mi X., Umaña M. N., Schmid B., Ma K. Linking individual-level functional traits to tree growth in a subtropical forest // Ecology. 2016. V. 97. P. 2396–2405.

- Maynard D. S., Bialic-Murphy L., Zohner C. M., Averill C., van den Hoogen J., Ma H., Mo L., Smith G. R., Acosta A. T. R., Aubin I., Berenguer E., Boonman C. C. F., Catford J. A., Cerabolini B. E. L., Dias A. S., González-Melo A., Hietz P., Lusk C. H., Mori A. S., Niinemets Ü., Pillar V. D., Pinho B. X., Rosell J. A., Schurr F. M., Sheremetev S. N., da Silva A. C., Sosinski Ê., van Bodegom P. M., Weiher E., Bönisch G., Kattge J., Crowther T. W. Global relationships in tree functional traits // *Nat. Comm.* 2022. V. 13. Article 3185.
- Owen H. J. F., Lines E. R. Common field measures and geometric assumptions of tree shape produce consistently biased estimates of tree and canopy structure in mixed Mediterranean forests // *Ecol. Indic.* 2024. V. 165. Article 112219.
- Paine C. E. T., Amissah L., Auge H., Baraloto C., Baruffol M., Bourland N., Bruelheide H., Daïnou K., de Gouvenain R. C., Doucet J.-L., Doust S., Fine P. V. A., Fortunel C., Haase J., Holl K. D., Jactel H., Li X., Kitajima K., Koricheva J., Martinez-Garza C., Mesnier C., Paquette A., Philipson C., Piotta D., Poorter L., Posada J. M., Potvin C., Rainio K., Russo S. E., Ruiz-Jaen M., Scherer-Lorenzen M., Webb C. O., Wright S. J., Zahawi R. A., Hector A. Globally, functional traits are weak predictors of juvenile tree growth, and we do not know why // *J. Ecol.* 2015. V. 103. N. 4. P. 978–989.
- Poorter L., Castilho C. V., Schiatti J., Oliveira R. S., Costa F. R. C. Can traits predict individual growth performance? A test in a hyper diverse tropical forest // *New Phytol.* 2018. V. 219. P. 109–121.
- Poorter L., Rozendaal D. M. A., Bongers F., de Almeida-Cortez J. S., Zambrano A. M. A., Alvarez F. S., Andrade J. L., Villa L. F. A., Balvanera P., Becknell J. M., Bentos T. V., Bhaskar R., Boukili V., Brancalion P. H. S., Broadbent E. N., César R. G., Chave J., Chazdon R. L., Colletta G. D., Craven D., de Jong B. H. J., Denslow J. S., Dent D. H., DeWalt S. J., García E. D., Dupuy J. M., Durán S. M., Santo M. M. E., Fandiño M. C., Fernandes G. W., Finegan B., Moser V. G., Hall J. S., Hernández-Stefanoni J. L., Jakovac C. C., Junqueira A. B., Ken-  
nard D., Lebrija-Trejos E., Letcher S. G., Lohbeck M., Lopez O. R., Marín-Spiotta E., Martínez-Ramos M., Martins S. V., Massoca P. E. S., Meave J. A., Mesquita R., Mora F., de Souza Moreno V., Müller S. C., Muñoz R., Muscarella R., de Oliveira Neto S. N., Nunes Y. R. F., Ochoa-Gaona S., Paz H., Peña-Claros M., Piotta D., Ruiz J., Sanaphre-Villanueva L., Sanchez-Azofeifa A., Schwartz N. B., Steininger M. K., Thomas W. W., Toledo M., Uriarte M., Utrera L. P., van Breugel M., van der Sande M. T., van der Wal H., Veloso M. D. M., Vester H. F. M., Vieira I. C. G., Villa P. M., Williamson G. B., Wright S. J., Zanini K. J., Zimmerman J. K., Westoby M. Wet and dry tropical forests show opposite successional pathways in wood density but converge over time // *Nat. Ecol. Evol.* 2019. V. 3. P. 928–934.
- Rubio V. E., Zambrano J., Iida Y., Umaña M. N., Swenson N. G. Improving predictions of tropical tree survival and growth by incorporating measurements of whole leaf allocation // *J. Ecol.* 2021. V. 109. P. 1331–1343.
- Shipley B., De Bello F., Cornelissen J. H. C., Laliberté E., Laughlin D. C., Reich P. B. Reinforcing loose foundation stones in trait based plant ecology // *Oecologia.* 2016. V. 180. P. 923–931.
- Statsmodels, 2024. <https://www.statsmodels.org/stable/index.html>
- Violle C., Navas M.-L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., Garnier E. Let the concept of trait be functional! // *Oikos.* 2007. V. 116. P. 882–892.
- Volaire F., Gleason S. M., Delzon S. What do you mean “functional” in ecology? Patterns versus processes // *Ecol. Evol.* 2020. V. 10. P. 11875–11885.
- Wright S. J., Kitajima K., Kraft N. J. B., Reich P. B., Wright I. J., Bunker D. E., Condit R., Dalling J. W., Davies S. J., Díaz S., Engelbrecht B. M., Harms K. E., Hubbell S. P., Marks C. O., Ruiz-Jaen M. C., Salvador C. M., Zanne A. E. Functional traits and the growth–mortality trade-off in tropical trees // *Ecology.* 2010. V. 91. P. 3664–3674.
- Yang J., Cao M., Swenson N. G. Why functional traits do not predict tree demographic rates // *Trends Ecol. Evol.* 2018. V. 33. N. 5. P. 326–336.



## DEPENDENCE OF ANNUAL STEM INCREMENT ON INVENTORY AND BIOPRODUCTION INDICATORS OF TREES IN PINE FORESTS OF THE TURGAY DEPRESSION

V. A. Usoltsev<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Ural Branch  
8 Marta str., 202a, Yekaterinburg, 620144 Russian Federation

<sup>2</sup> Ural State Forestry Engineering University  
Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

---

E-mail: Usoltsev50@mail.ru

The development of ecology implies the possibility of predicting the ecological functions of plants based on their functional characteristics, in particular, the specific leaf area, as the ratio of leaf surface area to their dry weight (SLA), and leaf mass per area (LMA), as the inverse of SLA. However, it was found that at the global level, SLA explains only 3.1 % of the variability in tree height growth. The introduction and use of the integral production feature  $M_p$ , as the product of LMA and the area of the horizontal projection of the crown, showed that the explanation of the variability of tree stem growth on the community of 125 species increased to 31 %, but, at the same time, did not show the advantages of  $M_p$  in the explanatory ability of the variability of growth compared with the stem diameter. The purpose of this study is to find out in what ratio, when modeling the tree stem growth, the explanatory power of a production indicator and a set of taxation features, such as stem diameter, tree height and tree age, may consist. For this purpose, according to the data of 300 sample trees taken on 30 sample plots in pure Scots pine forests of the Turgai Depression, a sequence of allometric models in a different combination of dependent and independent variables was calculated. Due to the too high complexity of determining the SLA with sufficient accuracy for 300 trees, the quotient of dividing the needle mass by the area of the horizontal projection of the crown ( $P_f/S_c$ ) was used as a production indicator. This production indicator has a biological meaning, slightly different from  $M_p$ , but in terms of information it is not inferior to the latter. It was found that when calculating the multifactorial dependence of the stem cross-sectional area growth over the past 10 years on ( $P_f/S_c$ ) and forest inventory indicators of trees, the contribution of ( $P_f/S_c$ ) to the explanation of the growth variability was only 6 % and it was excluded from the analysis. As a result, a two-factor allometric model of the stem cross-sectional area growth over 10 years on the age and stem diameter at breast height is proposed, explaining 91 % of the variability of the growth. The proposed model makes it possible to determine the cross-sectional area basal growth of a stand in the single-aged pine forests based on the results of the accounting trees by stem diameters.

**Keywords:** *functional characteristics of trees, taxation indicators of trees, tree cross-sectional area growth, explanatory ability, allometric models.*

**How to cite:** Usoltsev V. A. Dependence of annual stem increment on inventory and bioproduction indicators of trees in pine forests of the Turgay depression // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 52–58 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630.221.0:630.173/174

## ЧЕРЕСПЛОСНАЯ ПОСТЕПЕННАЯ РУБКА КАК СПОСОБ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ МЯГКОЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ В КОРЕННЫЕ ХВОЙНЫЕ

И. В. Предеина<sup>1</sup>, К. А. Башегуров<sup>1</sup>, Л. А. Белов<sup>1</sup>, С. В. Залесов<sup>1</sup>, Н. М. Итешина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный лесотехнический университет  
620100, Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37

<sup>2</sup> Удмуртский государственный аграрный университет  
426069, Республика Удмуртия, Ижевск, ул. Студенческая, 11

E-mail: predeina@yandex.ru, bashegurovka@m.usfeu.ru, belovla@m.usfeu.ru, Zalesovsv@m.usfeu.ru, n.iteshina@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.02.2024 г.

На основании материалов пробных площадей проанализированы последствия чересполосных постепенных рубок (ЧПР) в производных березняках южно-таёжного лесного района Европейской части Российской Федерации в границах Республики Удмуртия. Установлено, что при наличии подроста хвойных пород предварительной генерации и его сохранении в процессе проведения лесосечных работ обеспечивается формирование еловых молодняков на месте производных березовых насаждений без искусственного лесовосстановления. Помимо сохранения хвойного подроста предварительной генерации важно минимизировать площадь трелёвочных волоков, так как даже спустя 25 лет после рубки подрост хвойных пород на них отсутствует. В целях сохранения подроста и деревьев хвойных пород целесообразно порубочные остатки укладывать на трелёвочные волока, увеличивая тем самым несущую способность грунтов. Уничтожение подроста хвойных пород в процессе проведения лесосечных работ способствует зарастанию вырубаемых полос мягколиственными породами и живым напочвенным покровом (ЖНП). Хвойный подрост сопутствующей генерации в полосах, оставленных на второй прием ЧПР, не накапливается по причине высокой сомкнутости древесного полога двухъярусного насаждения, а в вырубленных полосах первого приема ЧПР – из-за высокой конкуренции со стороны ЖНП, подлеска и деревьев мягколиственных пород. При отсутствии хвойного подроста предварительной генерации целесообразно за 5–7 лет до первого приема ЧПР провести минерализацию почвы с целью накопления хвойного подроста.

**Ключевые слова:** производный березняк, коренное еловое насаждение, подрост, лесовосстановление, Республика Удмуртия.

DOI: 10.15372/SJFS20240608

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей лесоводства является совершенствование рубок спелых и перестойных насаждений. Непродуманное широкомасштабное проведение сплошнолесосечных рубок в XX в., преимущественно концентрированным способом, привело к массовой смене коренных еловых насаждений на производные мягколиственные. Так, площадь еловых насаждений в Пермской области за 1948–2018 гг. сократилась

на 1184.7 га (18.4 %). При этом площадь березняков за тот же период увеличилась на 1993.2 га (133.8 %), а осинников – на 410.7 га (211.3 %) (Беляев и др., 2019). Аналогичная картина смены хвойных насаждений на производные березняки и осинники наблюдалась и в других регионах страны (Смолоногов, Залесов, 2002; Дружинин, 2014; Калачев, 2020).

В настоящее время указанные производные березовые насаждения достигли возраста спелости, и в них вновь назначаются сплошноле-

сосечные рубки. При этом не учитывается, что при ширине лесосек 500 м и площади 50 га у подроста хвойных пород предварительной генерации нет шансов на выживание из-за резкого изменения микроклимата на вырубке, а накопление подроста хвойных пород последующей генерации сдерживается недостатком семян, основным источником которых служит стена леса (Постановление..., 2020; Приказ..., 2020).

Кроме того, вырубки производных березовых насаждений обильно зарастают вегетативным подростом берёзы (*Betula* L.) и осины (*Populus tremula* L.). Практика показала, что при наличии даже 4 шт./га крупных экземпляров осины и их спиливании формируется до 150 тыс. шт./га корневых отпрысков, которые вытесняют подрост других древесных видов и формируют устойчиво-производные мягколиственные насаждения с доминированием в составе древостоев осины.

Выполненные ранее исследования показали, что обратное переформирование производных березняков в коренные хвойные насаждения можно обеспечить проведением рубок переформирования и выборочных рубок спелых и перестойных насаждений (Казанцев и др., 2006; Абрамова и др., 2007; Оплетаев, Залесов, 2014; Усов и др., 2017, 2020; Теринов и др., 2020).

Поскольку рубки переформирования в настоящее время в большинстве регионов ограничены, возникает вопрос о возможности переформирования производных берёзовых насаждений при проведении чересполосных постепенных рубок (ЧПР), не прибегая к искусственному лесовосстановлению.

Цель работы – проанализировать лесоводственную эффективность двухприемных ЧПР в производных березняках и на этой основе определить возможность переформирования с их помощью указанных рубок в коренные ельники.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований служили производные березовые насаждения, сформировавшиеся на месте сплошнолесосечных рубок в еловых насаждениях кисличного типа леса. Работы проводились в лесном фонде Севинского участкового лесничества Глазовского лесничества Республики Удмуртия. Указанная территория в соответствии с действующим районированием (Приказ..., 2014) относится к южно-таежному лесному району Европейской части Российской Федерации (табл. 1).

Как следует из данных табл. 1, возраст производных березовых насаждений по материалам лесоустройства варьирует от 65 до 70 лет. Во всех насаждениях, за исключением выдела 6 квартала 42, в составе древостоев имеет место небольшая доля ели, что обеспечивает налет семян и формирование подроста предварительной генерации.

Согласно данным лесоустройства, в большинстве приведенных выделов в 1996 г. под пологом древостоев имел место крупный подрост ели (табл. 2).

Из данных табл. 2 следует, что в 1996 г. количество крупного подроста ели варьировало от 3.0 до 5.0 тыс. шт./га при его средней высоте от 5.0 до 7.0 м.

В вышеуказанных выделах были проведены двухприемные чересполосные постепенные рубки (ЧПР). При этом первый прием был выполнен по традиционной технологии, со спилом деревьев бензиномоторными пилами и трелевкой хлыстов за вершину трелевочным трактором. На вырубаемой полосе прокладывался один трелёвочный волок. Второй прием рубки проводился по сортиментной технологии с валкой деревьев, обрезкой сучьев и раскряжкой

**Таблица 1.** Таксационные показатели производных березовых насаждений кисличного типа II класса бонитета Севинского участкового лесничества по данным лесоустройства 1996 г.

| Квартал | Выдел | Состав          | Средние      |           |             | Относительная полнота | Запас, м <sup>3</sup> /га |
|---------|-------|-----------------|--------------|-----------|-------------|-----------------------|---------------------------|
|         |       |                 | возраст, лет | высота, м | диаметр, см |                       |                           |
| 42      | 6     | 7Б3Ос + Ивд     | 65           | 23        | 22          | 0.7                   | 200                       |
| 53      | 7     | 6Б2Ос1Ивд1Е + Б | 70           | 22        | 20          | 0.6                   | 160                       |
| 54      | 2     | 6Б4Ос + Ивд, Е  | 65           | 22        | 20          | 0.6                   | 160                       |
| 67      | 14    | 7Б1Ивд2Е        | 65           | 22        | 20          | 0.7                   | 190                       |
| 67      | 28    | 5Б2Ос2Е1П + Ивд | 65           | 22        | 20          | 0.6                   | 200                       |

Примечание. Е – ель (*Picea* A. Dietr.); П – пихта (*Abies* Mill.); Б – береза; Ос – осина; Ивд – ива (*Salix* L.), ф. древовидная.

**Таблица 2.** Характеристика подроста предварительной генерации под пологом производных березовых насаждений по материалам лесоустройства 1996 г.

| Квартал | Выдел | Состав | Средний возраст, лет | Средняя высота, м | Густота, тыс. шт./га |
|---------|-------|--------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 42      | 6     | 10Е    | 30                   | 5.0               | 3.0                  |
| 53      | 7     | 10Е    | 30                   | 5.0               | 4.0                  |
| 54      | 2     | 10Е    | 35                   | 6.0               | 5.0                  |
| 67      | 14    | 10Е    | 40                   | 7.0               | 4.0                  |

стволов харвестером, трелевкой сортиментов форвардером. Из-за ограниченного вылета стрелы манипулятора харвестера при завершающем приеме ЧПР прокладывалось два трелевочных волока.

В 2023 г. была проанализирована лесоводственная эффективность ЧПР путем закладки пробных площадей (пп) в соответствии с ОСТ 56-69-83 (1992) и апробированными методическими рекомендациями (Данчева и др., 2023). В процессе исследований установлены основные таксационные показатели древостоев в полосах первого и второго приемов рубки, а также количественные и качественные показатели подроста путем закладки на каждой пп по 30 учетных площадок размером  $2 \times 2$  м.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о таксационной характеристике древостоев, произрастающих в полосах первого и второго приемов ЧПР (табл. 3), наглядно свидетельствуют о высокой лесоводственной эффективности двухприемных чересполосных постепенных рубок. Так, спустя 25 лет после проведения первого приема ЧПР, на вырубленных полосах сформировались еловые насаждения с долей хвойных в составе 9 ед. и относительной полнотой 0.48 и 0.67 (пп 42-6-2 и 42-6-5). Особо следует отметить, что средняя высота ели составляет 12.0–12.3 м.

Эффективность ЧПР зависит прежде всего от сохранения подроста и деревьев ели второго яруса при лесосечных работах. После проведения второго приема рубки по сортиментной технологии спустя 3 года на вырубленных полосах шириной 30 м сформировались насаждения с доминированием ели и пихты в составе древостоев. Относительная полнота при этом варьирует от 0.15 до 0.31 при средней высоте ели 9.2–10.8 м. Поскольку сохраненный в процессе рубок молодняк после снятия конкуренции березового полога будет обильно плодоносить,

есть все основания ожидать накопление подроста и формирование второго яруса.

Таким образом, материалы исследований в квартале 42 наглядно свидетельствуют, что при наличии крупного хвойного подроста под пологом производных березовых насаждений и его сохранении в процессе проведения лесосечных работ можно обеспечить переформирование их в коренные хвойные.

В то же время при уничтожении хвойного подроста в процессе проведения ЧПР в вырубленных полосах формируются лиственные насаждения с доминированием ивы древовидной (пп 53-7-2) и берёзы (пп 53-7-1). Из-за уплотнения почвы при этом наблюдается разрастание травянистой растительности, что препятствует формированию подроста сопутствующей генерации.

В полосах, оставленных для завершающего приема рубки, формируются сложные двухъярусные насаждения. При этом в верхнем ярусе произрастают берёза и осина, а во втором – ель и пихта. Относительная полнота второго яруса варьируется от 0.19 до 0.29, что позволяет при его сохранении и оставлении части тонкомерных деревьев первого яруса сформировать устойчивые хвойные насаждения.

При планировании и проведении ЧПР очень важно обеспечить устойчивость древостоев после проведения первого приема рубок. Так, согласно Правилам санитарной безопасности в лесах (Постановление..., 2020), проведения ЧПР в еловых и пихтовых лесных насаждениях не допускается. Нами в процессе исследований случаев бурелома, ветровала или усыхания деревьев в полосах, оставляемых на завершающий прием ЧПР, не зафиксировано. Последнее свидетельствует о высокой устойчивости производных березняков против ветра и возможности проведения двухприемных ЧПР в них.

Двухприемные ЧПР в кварталах 54 и 67 показали близкие результаты с данными, полученными при проведении указанных рубок в квартале 42. Сохранение хвойного подроста



Таблица 3. Таксационные показатели насаждений после проведения двухприёмной ЧПР в производных березняках Севинского участкового лесничества

| Номер<br>п/п                                                                                   | Квартал | Выдел | Лес | Состав               | Порода    | Возраст,<br>лет | Средние        |              | Класс<br>бонитета | Тип<br>леса | Сумма<br>площадей<br>сечений, м²/га | Относи-<br>тельная<br>полнота | Густота,<br>шт./га | Запас, м³/га |                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|-----|----------------------|-----------|-----------------|----------------|--------------|-------------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|---------------------|
|                                                                                                |         |       |     |                      |           |                 | диаметр,<br>см | высота,<br>м |                   |             |                                     |                               |                    | общий        | в т. ч.<br>сухостоя |
| 1                                                                                              | 2       | 3     | 4   | 5                    | 6         | 7               | 8              | 9            | 10                | 11          | 12                                  | 13                            | 14                 | 15           | 16                  |
| Первый приём двухприёмной ЧПР выполнен в 1998 г. Ширина вырубленной полосы 35 м                |         |       |     |                      |           |                 |                |              |                   |             |                                     |                               |                    |              |                     |
| 42-6-2                                                                                         | 42      | 6     | 1   | 7Е2П1Б + Лп ед. Ос   | Ель       | 45              | 12.3           | 12.0         | III               | кс          | 12.808                              | 0.67                          | 1078               | 85           | 2                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Ива       | 45              | 13.3           | 12.3         | III               |             | 4.366                               |                               | 317                | 27           | 1                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Берёза    | 25              | 16.5           | 18.0         | III               |             | 1.779                               |                               | 83                 | 16           | 0                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Пихта     | 25              | 13.7           | 12.1         | Ia                |             | 0.818                               |                               | 56                 | 4            | 0                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Липа      | 25              | 11.9           | 12.5         |                   |             | 19.956                              | 17                            | 2                  | 0            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Итого ... |                 |                |              |                   |             |                                     | 1551                          | 134                | 4            |                     |
| 42-6-5                                                                                         | 42      | 6     | 1   | 9Е1Ивд + Б, П ед. Лп | Ель       | 40              | 13.9           | 12.3         | III               | кс          | 10.351                              | 0.48                          | 686                | 74           | 7                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Ива       |                 | 10.3           | 8.3          |                   |             | 1.613                               |                               | 193                | 6            | 0                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Берёза    | 55              | 19.0           | 19.3         | I                 |             | 0.406                               |                               | 14                 | 4            | 1                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Пихта     | 40              | 12.3           | 11.2         | III               |             | 0.590                               |                               | 50                 | 3            | 0                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Липа      |                 | 7.7            | 10.5         |                   |             | 0.168                               |                               | 36                 | 0            | 0                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Итого ... |                 |                |              |                   |             | 13.128                              |                               | 979                | 87           | 8                   |
|                                                                                                |         |       |     | Ед. дер.             | Осина     | 70              | 50.2           | 29.2         | Ia                |             | 2.828                               | 14                            | 38                 | 0            |                     |
| Второй приём ЧПР выполнен в 2020 г. по сортиментной технологии. Ширина вырубленной полосы 30 м |         |       |     |                      |           |                 |                |              |                   |             |                                     |                               |                    |              |                     |
| 42-6-1                                                                                         | 42      | 6     | 1   | 5ПЗЕ2Б               | Пихта     | 60              | 12.2           | 12.2         | IV                | тр          | 0.655                               | 33                            | 6                  | 0            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Ель       | 60              | 8.9            | 9.2          | IV                |             | 1.643                               | 267                           | 8                  | 0            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Берёза    | 55              | 15.8           | 18.0         | II                |             | 1.788                               | 153                           | 11                 | 0            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Итого ... |                 |                |              |                   |             | 4.086                               | 453                           | 25                 | 0            |                     |
|                                                                                                |         |       |     | Ед. дер.             | Осина     | 70              | 56.0           | 31.0         | Ia                |             | 1.641                               | 7                             | 23                 | 0            |                     |
| 42-6-4                                                                                         | 42      | 6     | 1   | 6Е2Б1П + Лп          | Ель       | 50              | 12.7           | 10.8         | IV                | тр          | 5.727                               | 453                           | 38                 | 1            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Берёза    | 55              | 17.0           | 18.1         | II                |             | 1.516                               | 67                            | 13                 | 6            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Пихта     | 50              | 14.5           | 12.8         | III               |             | 1.329                               | 80                            | 8                  | 1            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Липа      |                 | 13.6           | 10.5         |                   |             | 0.291                               | 20                            | 2                  | 0            |                     |
|                                                                                                |         |       |     | Ед. дер.             | Осина     | 70              |                |              | Ia                |             | 8.863                               | 620                           | 61                 | 8            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Итого ... |                 |                |              |                   |             | 5.623                               | 27                            | 77                 | 11           |                     |
| Ширина вырубленной полосы 37 м                                                                 |         |       |     |                      |           |                 |                |              |                   |             |                                     |                               |                    |              |                     |
| 42-6-3                                                                                         | 42      | 6     | 1   | 6ЕЗБ1П+Лп            | Ель       | 60              | 12.0           | 9.8          | V                 | тр          | 2.464                               | 0.15                          | 216                | 17           | 2                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Берёза    | 55              | 14.7           | 15.7         | II                |             | 0.830                               |                               | 49                 | 7            | 3                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Пихта     | 60              | 15.4           | 12.1         | III               |             | 0.302                               |                               | 16                 | 2            | 0                   |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Липа      |                 | 10.6           | 8.2          |                   |             | 0.190                               |                               | 22                 | 1            | 0                   |
|                                                                                                |         |       |     | Ед. дер.             | Осина     | 70              | 50.0           | 33.0         | Ia                |             | 3.786                               | 303                           | 26                 | 5            |                     |
|                                                                                                |         |       |     |                      | Итого ... |                 |                |              |                   |             | 1.061                               | 5                             | 15                 | 0            |                     |

| Первый прием двухприемной ЧПР в 2001 г. Ширина вырубленной полосы 30 м |    |    |   |                |           |    |      |      |     |    |        |      |     |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|----|---|----------------|-----------|----|------|------|-----|----|--------|------|-----|----|
| 53-7-1                                                                 | 53 | 7  | 1 | 6Б4Е           | Береза    | 20 | 5.6  | 6.7  | II  | тр | 1.207  | 489  | 5   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Ель       | 30 | 9.7  | 8.4  | III |    | 0.651  | 89   | 4   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Итого ... |    |      |      |     |    | 1.858  | 578  | 9   | 0  |
| 53-7-2                                                                 | 53 | 7  | 1 | 6Ив2Б1Ос1Е     | Ива       | 20 | 9.1  | 8.2  | II  | тр | 2.019  | 312  | 7   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Береза    | 20 | 4.8  | 4.9  | III |    | 0.528  | 286  | 2   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Осина     | 20 | 5.4  | 6.3  | II  |    | 0.101  | 43   | 1   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Ель       | 30 | 5.6  | 4.9  | IV  |    | 0.150  | 61   | 1   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Итого ... |    |      |      |     |    | 2.798  | 702  | 10  | 0  |
| Невырубленная полоса шириной 30 м                                      |    |    |   |                |           |    |      |      |     |    |        |      |     |    |
| 53-7-3                                                                 | 53 | 7  | 1 | 8Ос2Б          | Осина     | 90 | 40.6 | 32.3 | I   | КС | 19.456 | 150  | 265 | 11 |
|                                                                        |    |    |   |                | Береза    | 90 | 18.8 | 18.2 | III |    | 7.545  | 267  | 73  | 2  |
|                                                                        |    |    | 2 | 10Е ед. П      | Итого ... |    |      |      |     |    | 27.001 | 417  | 338 | 13 |
|                                                                        |    |    |   |                | Ель       | 65 | 14.8 | 13.9 | III |    | 9.783  | 572  | 74  | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Пихта     | 65 | 12.0 | 10.8 | IV  |    | 0.126  | 11   | 1   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Итого ... |    |      |      |     |    | 9.909  | 583  | 75  | 0  |
| Первый прием двухприемной ЧПР в 1999 г. Ширина вырубленной полосы 35 м |    |    |   |                |           |    |      |      |     |    |        |      |     |    |
| 54-2-2                                                                 | 54 | 2  | 1 | 7Е1П1Б1Ос + Лп | Ель       | 50 | 14.3 | 13.5 | III | КС | 14.702 | 914  | 105 | 1  |
|                                                                        |    |    |   |                | Пихта     | 50 | 20.0 | 15.4 | II  |    | 1.563  | 50   | 11  | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Береза    | 20 | 14.7 | 16.8 | Ia  |    | 1.207  | 71   | 12  | 4  |
|                                                                        |    |    |   |                | Осина     | 20 | 13.1 | 14.3 | Ia  |    | 1.530  | 114  | 13  | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Липа      |    | 10.9 | 9.7  |     |    | 1.545  | 164  | 7   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Итого ... |    |      |      |     |    | 20.547 | 1313 | 148 | 5  |
| Второй прием ЧПР в 2020 г. Ширина вырубленной полосы 28 м              |    |    |   |                |           |    |      |      |     |    |        |      |     |    |
| 54-2-1                                                                 | 54 | 2  | 1 | 9Е1П           | Ель       | 50 | 10.1 | 9.0  | IV  | КС | 3.439  | 427  | 21  | 1  |
|                                                                        |    |    |   |                | Пихта     | 50 | 13.3 | 11.1 | IV  |    | 0.186  | 13   | 1   | 0  |
|                                                                        |    |    |   | Ед. дер.       | Итого ... |    |      |      |     |    | 3.625  | 440  | 22  | 1  |
|                                                                        |    |    |   |                | Осина     | 95 | 64.0 | 32.0 | I   |    | 2.144  | 7    | 30  | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Береза    | 85 | 19.6 | 17.2 | III |    | 0.404  | 13   | 11  | 8  |
| Первый прием ЧПР в 1999 г. Ширина вырубленной полосы 30 м              |    |    |   |                |           |    |      |      |     |    |        |      |     |    |
| 67-14-1                                                                | 67 | 14 | 1 | 5Е4Е1П +Б, Ивд | Ель       | 60 | 22.8 | 14.9 | III | КС | 5.112  | 125  | 47  | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Ель       | 30 | 10.6 | 8.7  | III |    | 5.630  | 638  | 32  | 1  |
|                                                                        |    |    |   |                | Береза    | 20 | 7.0  | 7.7  | I   |    | 0.622  | 156  | 3   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Пихта     | 30 | 14.3 | 9.7  | II  |    | 1.197  | 75   | 8   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Ива       |    | 10.8 | 8.7  |     |    | 0.966  | 106  | 4   | 0  |
|                                                                        |    |    |   |                | Итого ... |    |      |      |     |    | 13.527 | 1100 | 94  | 1  |

Окончание табл. 2

| 1                                                             | 2  | 3  | 4 | 5                    | 6         | 7   | 8    | 9     | 10  | 11     | 12     | 13   | 14     | 15  | 16  |    |
|---------------------------------------------------------------|----|----|---|----------------------|-----------|-----|------|-------|-----|--------|--------|------|--------|-----|-----|----|
| 67-14-3                                                       | 67 | 14 | 1 | 8Е2П + Б ед. Лп, Ивд | Ель       | 30  | 12.9 | 9.4   | Ш   | тр     | 8.751  | 0.43 | 665    | 61  | 0   |    |
|                                                               |    |    |   |                      | Пихта     | 30  | 16.9 | 10.3  | II  |        | 2.239  |      | 100    | 15  | 0   |    |
|                                                               |    |    |   |                      | Береза    | 20  | 8.1  | 7.7   | I   |        | 0.362  |      | 71     | 2   | 0   |    |
|                                                               |    |    |   |                      | Липа      | 20  | 6.7  | 7.2   |     |        | 0.063  |      | 18     | 0   | 0   |    |
|                                                               |    |    |   |                      | Ива       |     | 10.0 | 6.5   |     |        | 0.046  |      | 6      | 0   | 0   |    |
| Итого ...                                                     |    |    |   |                      |           |     |      |       |     | 11.461 |        | 860  | 78     | 0   |     |    |
| Невырубленная полоса для завершающего приема ЧПР шириной 30 м |    |    |   |                      |           |     |      |       |     |        |        |      |        |     |     |    |
| 67-14-3                                                       | 67 | 14 | 1 | 8Б2Е                 | Береза    | 90  | 23.0 | 24.8  | II  | КС     | 15.914 | 0.63 | 383    | 172 | 14  |    |
|                                                               |    |    |   |                      | Ель       | 100 | 26.6 | 20.9  | III |        | 4.337  |      | 78     | 47  | 2   |    |
|                                                               |    |    | 2 | 8Е2П                 | Итого ... |     |      |       |     |        |        |      | 20.251 | 461 | 219 | 16 |
|                                                               |    |    |   |                      | Ель       | 60  | 10.8 | 11.6  | IV  |        | 5.034  |      | 545    | 31  | 1   |    |
|                                                               |    |    |   |                      | Пихта     | 60  | 11.8 | 12.4  | IV  |        | 1.044  |      | 96     | 6   | 0   |    |
| Итого ...                                                     |    |    |   |                      |           |     |      | 6.078 | 641 | 37     | 1      |      |        |     |     |    |

Примечание. Лп – липа (*Tilia L.*); тр – травяной

обеспечивает его адаптацию к изменившимся условиям и быстрый рост. В оставленных на завершающий прием рубки полосах крупный подрост за счет бокового освещения формирует второй ярус, который может служить базовой основой для роста коренного ельника на месте производного березняка.

Важность сохранения подроста и молодняка хвойных пород подтверждается отсутствием подроста сопутствующей генерации (табл. 4).

Анализ табл. 4 показывает, что в составе подроста сопутствующей генерации доминируют осина и береза. Доминирование осины объясняется высокой корнеотпрысковой способностью, поэтому целесообразно оставлять крупные низкотоварные деревья в качестве объектов биологического разнообразия. Это минимизирует количество корневых отпрысков, а следовательно, и необходимость в последующих уходах. Ель в подросте преобладает лишь на 2 из 13 пп.

При этом густота жизнеспособного подроста ели в пересчете на крупный составляет на указанных пп 140 и 1040 шт./га, что значительно меньше, чем требуется для формирования молодняков, согласно действующим Правилам лесовосстановления (Приказ..., 2021).

Логично, что формирование хвойных насаждений возможно только при наличии подроста ели и пихты. В случае отсутствия такового за 5–7 лет до рубки необходимо выполнить минерализацию почвы, а для сохранения жизнеспособного подроста и молодняка в качестве основного способа очистки мест рубок рекомендуется укладка порубочных остатков на трелевочные волока с целью повышения несущей способности грунтов.

## ВЫВОДЫ

1. Спелые и перестойные производные мягколиственные насаждения, сформировавшиеся после проведения сплошнолесосечных рубок на месте коренных ельников, могут быть переформированы в ельники двухприемными ЧПР.

2. ЧПР могут проводиться как по традиционной, так и сортиментной технологии с использованием на валке харвестеров, а на трелевке дресвины – форвардеров. Обязательным условием назначения в рубку является наличие подроста ели в количестве более 3 тыс. шт./га в пересчете на крупный.

3. При проведении ЧПР порубочные остатки складываются на волок с целью повышения несущей способности почвы и недопущения по-

**Таблица 4.** Количество подроста в пересчете на крупный на участках ЧПР в Севинском участковом лесничестве

| Номер<br>пп | Квартал | Выдел | Состав подроста     | Древесная<br>порода | Количество подроста по<br>жизнеспособности |      |      | Встреча-<br>емость,<br>% | Количество<br>жизнеспособного<br>подроста, шт./га |
|-------------|---------|-------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------|------|------|--------------------------|---------------------------------------------------|
|             |         |       |                     |                     | Ж                                          | С    | не Ж |                          |                                                   |
| 42-6-2      | 42      | 6     | 8Ос2Е ед. Б         | Осина               | 2975                                       | 163  | 0    | 40                       | 3056                                              |
|             |         |       |                     | Ель                 | 225                                        | 850  | 250  | 30                       | 650                                               |
|             |         |       |                     | Береза              | 125                                        | 0    | 0    | 5                        | 125                                               |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 3325                                       | 1013 | 250  | —                        | 3831                                              |
| 42-6-5      | 42      | 6     | 5Б4Ос1Е             | Береза              | 2040                                       | 80   | 0    | 48                       | 2080                                              |
|             |         |       |                     | Осина               | 1550                                       | 0    | 50   | 36                       | 1550                                              |
|             |         |       |                     | Ель                 | 480                                        | 0    | 0    | 12                       | 480                                               |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 4070                                       | 80   | 50   | —                        | 4110                                              |
| 42-6-1      | 42      | 6     | 7Ос2Лп1Б ед. Е, П   | Осина               | 13 190                                     | 60   | 0    | 86                       | 13 220                                            |
|             |         |       |                     | Липа                | 2881                                       | 0    | 0    | 48                       | 2881                                              |
|             |         |       |                     | Береза              | 2238                                       | 286  | 0    | 52                       | 2381                                              |
|             |         |       |                     | Ель                 | 95                                         | 0    | 286  | 19                       | 95                                                |
|             |         |       |                     | Пихта               | 60                                         | 95   | 0    | 5                        | 107                                               |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 18 464                                     | 441  | 286  | —                        | 18 684                                            |
| 42-6-4      | 42      | 6     | 9Ос1Б ед. Е, Лп     | Осина               | 8406                                       | 667  | 0    | 83                       | 8740                                              |
|             |         |       |                     | Береза              | 1469                                       | 0    | 0    | 29                       | 1469                                              |
|             |         |       |                     | Ель                 | 135                                        | 0    | 0    | 8                        | 135                                               |
|             |         |       |                     | Липа                | 52                                         | 0    | 0    | 4                        | 52                                                |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 10 062                                     | 667  | 0    | —                        | 10 396                                            |
| 42-6-3      | 42      | 6     | 9Ос1Б + Лп ед. Е, П | Осина               | 16 610                                     | 0    | 0    | 84                       | 16 610                                            |
|             |         |       |                     | Береза              | 1530                                       | 0    | 0    | 28                       | 1530                                              |
|             |         |       |                     | Липа                | 930                                        | 0    | 0    | 20                       | 930                                               |
|             |         |       |                     | Пихта               | 100                                        | 0    | 0    | 4                        | 100                                               |
|             |         |       |                     | Ель                 | 50                                         | 0    | 0    | 4                        | 50                                                |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 19 220                                     | 0    | 0    | —                        | 19 220                                            |
| 53-7-1      | 53      | 7     | 8Б2Ос + Е           | Береза              | 1923                                       | 96   | 77   | 42                       | 1971                                              |
|             |         |       |                     | Осина               | 346                                        | 173  | 0    | 12                       | 433                                               |
|             |         |       |                     | Ель                 | 48                                         | 0    | 0    | 4                        | 48                                                |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 2317                                       | 269  | 77   | —                        | 2452                                              |
| 53-7-2      | 53      | 7     | 8Б2Е                | Береза              | 2167                                       | 0    | 0    | 42                       | 2167                                              |
|             |         |       |                     | Ель                 | 688                                        | 0    | 0    | 17                       | 688                                               |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 2855                                       | 0    | 0    | —                        | 2855                                              |
| 53-7-3      | 53      | 7     | 10Е                 | Ель                 | 0                                          | 280  | 640  | 48                       | 140                                               |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 0                                          | 280  | 640  | 48                       | 140                                               |
| 54-2-2      | 54      | 2     | 9Ос1Лп ед. Е        | Осина               | 6857                                       | 238  | 0    | 71                       | 6976                                              |
|             |         |       |                     | Липа                | 512                                        | 0    | 0    | 14                       | 512                                               |
|             |         |       |                     | Ель                 | 0                                          | 155  | 250  | 24                       | 77                                                |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 7369                                       | 393  | 250  | —                        | 7565                                              |
| 54-2-1      | 54      | 2     | 9Ос1Б ед. Лп        | Осина               | 14 989                                     | 0    | 87   | 78                       | 14 989                                            |
|             |         |       |                     | Береза              | 1500                                       | 0    | 0    | 26                       | 1500                                              |
|             |         |       |                     | Липа                | 54                                         | 0    | 0    | 4                        | 54                                                |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 16 543                                     | 0    | 87   | —                        | 16 543                                            |
| 67-14-1     | 67      | 14    | 8Б2Е ед. Ос, П      | Береза              | 2935                                       | 0    | 0    | 48                       | 2935                                              |
|             |         |       |                     | Ель                 | 444                                        | 74   | 0    | 26                       | 481                                               |
|             |         |       |                     | Осина               | 46                                         | 0    | 0    | 4                        | 46                                                |
|             |         |       |                     | Пихта               | 0                                          | 74   | 0    | 4                        | 37                                                |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 3425                                       | 148  | 0    | —                        | 3499                                              |
| 67-14-3     | 67      | 14    | 9Б1Е                | Береза              | 8900                                       | 0    | 0    | 52                       | 8900                                              |
|             |         |       |                     | Ель                 | 1140                                       | 0    | 0    | 28                       | 1140                                              |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 10040                                      | 0    | 0    | —                        | 10040                                             |
| 67-14-2     | 67      | 14    | 9Е1Б                | Береза              | 130                                        | 0    | 0    | 4                        | 130                                               |
|             |         |       |                     | Ель                 | 830                                        | 420  | 80   | 44                       | 1040                                              |
|             |         |       |                     | Итого ...           | 960                                        | 420  | 80   | —                        | 1170                                              |

Примечание. Ж – жизнеспособный, С – сомнительный, не Ж – не жизнеспособный.



вреждения корней тонкомерных деревьев и подроста ели вблизи трелевочных волоков.

4. При отсутствии подроста ели предварительной генерации за 5–7 лет до проведения первого приема ЧПР осуществляется минерализация почвы.

5. При уничтожении хвойного подроста в процессе проведения лесосечных работ формируются длительно-производные осинники, аналогичные таковым при проведении сплошнолесосечных рубок в производных березняках.

6. При условии соблюдения лесоводственных требований к проведению выборочных рубок ЧПР относятся к эффективным способам переформирования производных березовых насаждений в коренные хвойные.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамова Л. П., Залесов С. В., Казанцев С. Г., Луганский Н. А., Магасумова А. Г. Рубки обновления и переформирования в лесах Урала. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 264 с.
- Беляев Т. А., Нагимов З. Я., Шевелина И. В., Шерстнёв В. А. Ретроспективный анализ изменения площадей насаждений различных пород в лесном фонде Пермского края // Леса России и хоз-во в них. 2019. № 4 (71). С. 10–16.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. 146 с.
- Дружинин Ф. Н. Лесоводственно-экономические основы восстановления ельников в производных лесах Восточно-Европейской равнины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02/06.03.01. Архангельск: С(А)ФУ им. М. В. Ломоносова, 2014. 40 с.
- Казанцев С. Г., Залесов С. В., Залесов А. С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 156 с.
- Калачев А. А. Пихтовые леса Юго-Западного Алтая и их рациональное использование. Алматы: Арыс, 2020. 212 с.
- Оплетаев А. С., Залесов С. В. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. 178 с.
- ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустroительные. Методы закладки. М.: Экология, 1992. 17 с.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 09.12.2020 № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». М.: Правительство РФ, 2020.
- Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». М.: Минприроды РФ, 2014.
- Приказ Минприроды России от 01.12.2020 № 993 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в ст. 23 Лесного кодекса РФ». М.: Минприроды РФ, 2020.
- Приказ Минприроды России от 29.12.2021 № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка, согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления». М.: Минприроды России, 2021.
- Смолоногов Е. П., Залесов С. В. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 186 с.
- Теринов Н. Н., Андреева Е. М., Залесов С. В., Луганский Н. А., Магасумова А. Г. Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения // ИВУЗ. Лесн. журн. 2020. №. 3. С. 9–23.
- Усов М. В., Залесов С. В., Шубин Д. А., Толстиков А. Ю., Белов Л. А. Перспективность применения чересполосных постепенных рубок в сосняках Алтая // Агр. вестн. Урала. 2017. № 1 (155). С. 50–54.
- Усов М. В., Залесов С. В., Попов А. С., Чермных А. И., Стародубцева Н. И. Последствия чересполосных постепенных рубок в насаждениях сосняка бруснично-багульниково-мшистого подзоны северной тайги // Вестн. Бурят. гос. с.-х. акад. им. В. Р. Филиппова. 2020. № 1. С. 105–113.

## **ALTERNATE STRIP GRADUAL FELLING, AS A METHOD OF TRANSFORMING DERIVATIVE SOFTWOOD STANDS INTO INDIGENOUS CONIFEROUS**

**I. V. Predeina<sup>1</sup>, K. A. Bashegurov<sup>1</sup>, L. A. Belov<sup>1</sup>, S. V. Zalesov<sup>1</sup>, N. M. Iteshina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Ural State Forestry Engineering University  
Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation*

<sup>2</sup> *Udmurt State Agrarian University  
Studencheskaya str., 11, Izhevsk, Republic of Udmurtia, 426069 Russian Federation*

---

E-mail: predeina@yandex.ru, bashegurovka@m.usfeu.ru, belovla@m.usfeu.ru, Zalesovsv@m.usfeu.ru, n.iteshina@yandex.ru

Based on materials of trial plots, it has been analyzed the consequences of strip-gradual felling (SFG) of derivative forests on the territory of birch derivatives of the southern taiga forest region (the European part of the Russian Federation within the borders of the Republic of Udmurtia). It has been established that in the presence of coniferous undergrowth of addition to pregeneration and its preservation during logging operations it is ensured the formation of young spruce stands in place of derivative birch plantations without artificial forest restoration. In addition to preserving the pre-generation coniferous undergrowth, it is important to minimize the area of skidding roads, since even 25 years after cutting there is no undergrowth of coniferous species on them. In order to preserve undergrowth and coniferous trees it is advisable to place logging residues on skidding tracks, they increasing the bearing capacity of the soil. The destruction of teenage coniferous trees in the process of carrying out adjacent work contributes overgrowth of cut down strips with soft deciduous trees and living soil cover. Coniferous undergrowth of accompanying generation in stripes left for the second appointment is not accumulated due to the high density of the tree canopy of a two years planting but in the cut down strips of the first cut down strips appointment due to high competition from 2Sc undergrowth and softwood trees. In the absence of coniferous undergrown preliminary generation is advisable to carry out 5–7 before the first SFG for the purpose of accumulating coniferous undergrowth.

**Keywords:** *derivative birch forest, indigenous spruce stands, undergrowth, forest restoration, the Republic of Udmurtia.*

**How to cite:** *Predeina I. V., Bashegurov K. A., Belov L. A., Zalesov S. V., Iteshina N. M. Alternate strip gradual felling, as a method of transforming derivative softwood stands into indigenous coniferous // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 59–67 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630:911.52+574.474 (571.61)

## ПОСТПИРОГЕННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. А. Тимченко<sup>1</sup>, К. Г. Ткаченко<sup>2</sup>, Н. А. Юст<sup>1</sup>, О. Н. Щербакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный государственный аграрный университет  
675006, Благовещенск, ул. Политехническая, 86

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН  
197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2

E-mail: timchenko-nat@mail.ru, ktkachenko@binran.ru, yustnatal@mail.ru, olesya-2512@mail.ru

Поступила в редакцию 11.09.2023 г.

Приведен анализ естественного возобновления лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) (Pinaceae) на землях, расположенных в зоне многолетней мерзлоты. Исследования проводили с целью выявления хода успешности лесовосстановления на территориях, подверженных пирогенному воздействию. Успех восстановления лиственничных лесов зависит от воздействия многих факторов, связанных с биологическими, климатическими, почвенными условиями, особенностями семеношения, созревaniem семян, урожайными периодами, и другими факторами, в том числе лесоводственного характера. Исследования естественного возобновления древесных пород и дальнейшего формирования лесных насаждений проводили по методике пробных площадей, заложенных в древостоях, пройденных пожарами разной давности в Мазановском участковом лесничестве Амурской области. На землях лесного фонда, подвергавшихся пирогенному воздействию в разные годы, были заложены шесть пробных площадей (пп) прямоугольной формы. Для детального исследования на учетных площадках изучали молодое поколение деревьев по количественным показателям, проективному покрытию, размерным характеристикам, качественным признакам. Возобновление оценивали по региональной шкале применительно для Дальнего Востока. По результатам камеральной обработки отмечаются тенденции смены хвойной породы на лиственные на пп 1 и 2 в случае сохранения травяно-мохового покрова и лесной подстилки, а также при интенсивном вегетативном возобновлении лиственных пород. Сохранение доминанты за лиственницей Гмелина наблюдается при благоприятных почвенных условиях и урожайных годах до формирования живого напочвенного покрова на пп 3 и 5. Впервые для смешанных древостоев северного региона (на примере Мазановского участковом лесничества) было выявлено, что в результате многократного пожарного воздействия на лесные экосистемы существуют предпосылки формирования чистых лиственничных лесов с низким участием сопутствующих пород в зависимости от периода плодоношения главной хозяйственной породы – лиственницы Гмелина – и пирогенного воздействия на лесную подстилку.

**Ключевые слова:** *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), оценочные шкалы естественного лесовозобновления, подрост, подлесок, пробная площадь, многолетняя мерзлота.

DOI: 10.15372/SJFS20240609

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в эксплуатацию вовлечены естественные леса обширного Дальневосточного региона. Хвойные насаждения представлены малоизученной восточной расой лиственницы даурской (*Larix dahurica* P. Lawson et C. Lawson) или – лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) (Pinaceae).

В северных таежных лесах Сибири, Дальнего Востока и Северной Америки образуются древостои, в которых доминирует лиственница Гмелина – ценная хвойная порода, произрастающая в криолитозоне, где многие другие виды являются сопутствующими компонентами древостоев (Харук, Пономарев, 2017; Kharuk, Ponomarev, 2017; Бондур и др., 2020; Bondur et al., 2020; Bryanin et al., 2020).

В России на долю таких насаждений приходится около 35 % площади всех лиственничников, занимающих земли лесного фонда, и почти половина (49 %) площади лесов Сибири и Дальнего Востока (Bryanin et al., 2020). В зоне вечной мерзлоты произрастают древостои, 80 % из которых – с участием лиственницы Гмелина, эти леса являются самыми крупными в бореальном биоме (Харук, Пономарев, 2017; Kharuk, Ponomarev, 2017; Bryanin et al., 2020).

С потеплением климата в северных широтах все чаще отмечаются лесные пожары, их становится больше не только по количеству, но и по охваченной территории. Лесные пожары приводят к гибели лесных экосистем или к их нарушению, к необратимым сукцессионным процессам. Характер воздействия пожаров в лесу на лесовозобновительные процессы многообразен. Однако признается повсеместное отрицательное их влияние на возобновительные процессы после высокоинтенсивных пожаров, в то время как последствия пожаров умеренной и слабой силы не так ощутимы (Zyryanova et al., 2010, 2020; Ponomarev et al., 2016; Kharuk et al., 2017; Chen, Loboda, 2018).

Ученые прогнозируют возникновение огромных экологических проблем, связанных с лесными пожарами в Сибири, Якутии, Северной Америке и других регионах планеты из-за глобального потепления (Швиденко, Щепашенко, 2013; Shvidenko, Schepaschenko, 2013; Tkachenko et al., 2022). Причиной возгорания может быть как антропогенный фактор, так и природный – сухие грозы, вызванные молниями, самовозгорание торфяников, реже – извержения вулканов или падения метеоритов, что в итоге связано с динамикой лиственничных лесов в ответ на интенсивность пожаров (Chen, Loboda, 2018; Яковлев, Андреев, 2021; Ivanov et al., 2022).

Подземные пожары в криолитозоне Сибири резко меняют флористическое разнообразие лиственничных ассоциаций. Через 3–4 года после пожара количество сосудистых растений на сгоревшем участке становится в 1.2–1.3 раза больше, чем у несгоревших ассоциаций. Такое увеличение численности видов обусловлено как восстановлением предпочитаемых видов, так и вторжением новых. Доминирующие виды в ассоциации с доминированием лиственницы и последующих ассоциациях после пожара различаются, особенно на ранних стадиях сукцессии (Zyryanova et al., 2010).

К стратегической задаче современности в сфере лесного хозяйства можно отнести интен-

сификацию лесовосстановления и охраны лесов для решения глобальных экологических проблем повсеместно на нашей планете (Zhao et al., 2012; Швиденко, Щепашенко, 2013; Shvidenko, Schepaschenko, 2013). В связи с этим при восстановлении лесов после пожаров нельзя пренебрегать и естественно протекающими процессами.

С другой стороны, лесные пожары способствуют формированию древостоя и его продуктивности, благоприятно влияют на процессы естественного возобновления, однако частые пожары в лиственничных лесах являются негативным фактором по смене главной породы на малоценную. Частота лесных пожаров в лиственничных насаждениях может варьировать от 3–5 до 40–100 и даже до 200 лет и быть показателем положительных циклов развития лесного биома (Zyryanova et al., 2020).

Лиственница Гмелина относится к наиболее огнестойкой породе в лесах умеренного пояса. Условия произрастания – особенности рельефа, вечная мерзлота, плотность и размерная характеристика опада, толщина защитной ткани ствола – позволяют деревьям выживать даже при сильных пожарах. Они способствуют обновлению экосистем лиственницы при сохранении плюсовых генеративных деревьев, которые служат источниками семян (Харук, Пономарев, 2017; Kharuk, Ponomarev, 2017).

Наличие минерализованного слоя, как постпирогенный эффект, его температурно-влажностный режим, влияют на интенсивность прорастания семян лиственницы и дальнейшее естественное возобновление (Ponomarev et al., 2016, 2018, 2020; Пономарев и др., 2018).

На Дальнем Востоке в естественных насаждениях с участием лиственницы Гмелина были проведены исследования, связанные с интенсивностью разложения питательных веществ после наземных пожаров и с их влиянием на естественное восстановление основной породы. Мониторинг процессов лесовосстановления проводился с акцентом на период поздних стадий разложения подстилки при дальнейшем формировании древостоев (Щепашенко и др., 2015; Schepaschenko et al., 2015; Bryanin et al., 2020).

В лиственничных лесах Дальнего Востока продолжительных низовых пожаров 10-летнего периода недостаточно для образования подстилки и восстановления мощного мохово-лишайникового покрова. Определение интенсивности и условий разложения основных видов подстилки позволит оценить способность восстановитель-



ных процессов в древостоях лиственницы Гмелина (Пономарев и др., 2018; Ponomarev et al., 2018; Кондратова и др., 2021; Kondratova et al., 2021).

На территории северных провинций Китая, граничащих с Амурской областью, были изучены процессы лесовосстановления после пожаров лиственничных насаждений и их влияние на стадию формирования лесных экосистем. В процессе последовательного лесовосстановления содержание неорганического азота увеличивается примерно на 41 %, что положительно влияет на рост и развитие подроста (Hu et al., 2019; Barrett et al., 2020; Weng et al., 2021).

Степень интенсивности и размер площади, охваченной пожарами, являются основными факторами, влияющими на формирование самосева и подроста древесных пород, от которых зависит урожайность и качество семян, попадающих в почву (Zhao et al., 2012; Khatancharoen et al., 2021).

Факторы, влияющие на раннее восстановление растительности после пожаров в Амурской области, изучены недостаточно. В настоящее время мало исследований посвящено восстановлению определенных типов лесов, пройденных пожарами (Dyadchenko et al., 2020; Замолотчиков и др., 2022).

Цель настоящего исследования – изучить успешность лесовосстановления в насаждениях с участием лиственницы Гмелина, пройденных пожарами в Мазановском лесничестве Амурской области. Для ее достижения необходимо было решить следующие задачи:

- оценить степень обеспеченности подростом древесных пород в районе исследований;
- изучить факторы, влияющие на накопление подроста.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование естественного возобновления лиственницы Гмелина проводилось в лесных насаждениях Мазановского участкового лесничества Амурской области в 2020–2022 гг.

Лиственница Гмелина является хозяйственно-ценной породой, доминирующей в эксплуатационных лесах Амурской области, к которым относится Мазановское лесничество. Данная территория подвержена лесным пожарам, которые приводят к гибели и снижению продуктивности лиственничных древостоев.

Возобновительные процессы данной породы изучались методом закладки пробных площадей (пп), которые подбирались в насаждениях, пройденных лесными пожарами в разные сроки давности, по прошествии от 17 до 3 лет (Сукачев, Зонн, 1961).

Для закладки пп обходился и детально осматривался весь участок, подбирались условия, которые полностью отражали его характерные особенности. Не допускалось примыкание пп к просекам, дорогам и другим открытым или не характерным для данного насаждения участкам ближе, чем на 20 м.

Все части пп были однородными по степени повреждения пожаром. Пп закладывались в форме прямоугольника, размером 0.25 га.

В пределах пп насаждение было однородным по условиям местопроизрастания, составу, возрасту, бонитету, полноте, не включались различные по экспозиции, крутизне и положению в профиле части склона.

В ходе исследования было заложено шесть временных пп, которые отграничивались визирами шириной 0.3 м. На деревьях, примыкающих к визиру с внешней стороны, наносились легкие трехсторонние затески на высоте 1.3 м: одна – по ходу визира, две другие – в направлении, перпендикулярном ходу визира. Две пп размещались в квартале 364, третья и четвертая – в квартале 396, пятая и шестая – в квартале 407, с координатами, представленными в табл. 1.

Каждая из шести пп предполагала закладку 25–30 учетных площадок размером 1 × 1 м для количественной оценки подроста, с занесением в учетную ведомость по породам, категории крупности, возраста, степени жизнеспособности, характера размещения (куртинно, равномерно) (табл. 2).

По размерным показателям подрост подразделялся на три категории: мелкий (до 0.5 м), средний (0.51–1.5 м) и крупный (более 1.51 м). По жизненной категории учитывался благо-

**Таблица 1.** Географические координаты пробных площадей

| Номер пп | X (с. ш.)  | Y (в. д.)   |
|----------|------------|-------------|
| 1        | 587835.424 | 4157547.587 |
| 2        | 587300.235 | 4158299.216 |
| 3        | 584590.044 | 4159981.370 |
| 4        | 584772.565 | 4160068.368 |
| 5        | 585725.598 | 4165412.889 |
| 6        | 585691.502 | 4165140.422 |

Таблица 2. Количественная оценка подроста на пробных площадях

| Номер квартала | Номер пп | Порода | Возраст, лет | Класс возраста | Средний диаметр, см | Класс бонитета | Полнота | Средняя высота, м | Количество деревьев, шт./га | Сумма площадей сечений, м <sup>3</sup> /га | Запас, м <sup>3</sup> /га | Состав древостоя |
|----------------|----------|--------|--------------|----------------|---------------------|----------------|---------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|------------------|
| 364            | 1        | Лц     | 100          | V              | 24                  | III            | 0.3     | 20                | 63                          | 4.52                                       | 57                        | 8Лц2Бб ед. Ос    |
|                |          | Бб     | 60           | VI             | 22                  |                |         | 18                | 15                          | 3.80                                       | 10                        |                  |
|                |          | Ос     | 50           | V              | 16                  |                |         | 18                | 3                           | 2.01                                       | 1                         |                  |
| 364            | 2        | Лц     | 120          | VI             | 32                  | IV             | 0.3     | 19                | 48                          | 8.04                                       | 73                        | 9Лц1Бб           |
|                |          | Бб     | 60           | VI             | 24                  |                |         | 11                | 8                           | 4.52                                       | 4                         |                  |
| 396            | 3        | Лц     | 130          | VII            | 28                  | IV             | 0.3     | 21                | 24                          | 6.16                                       | 41                        | 9Лц1Бб           |
|                |          | Бб     | 70           | VII            | 22                  |                |         | 19                | 8                           | 3.80                                       | 6                         |                  |
| 396            | 4        | Лц     | 130          | VII            | 28                  | IV             | 0.3     | 21                | 32                          | 6.16                                       | 41                        | 8Лц1Бч1Бб + Ос   |
|                |          | Бч     | 70           | VII            | 22                  |                |         | 16                | 7                           | 3.80                                       | 4                         |                  |
|                |          | Бб     | 70           | VII            | 24                  |                |         | 16                | 6                           | 4.52                                       | 4                         |                  |
|                |          | Ос     | 50           | V              | 16                  |                |         | 14                | 8                           | 2.01                                       | 2                         |                  |
| 407            | 5        | Лц     | 130          | VII            | 32                  | IV             | 0.3     | 21                | 46                          | 8.04                                       | 78                        | 10Лц             |
| 407            | 6        | Лц     | 140          | VII            | 28                  | IV             | 0.3     | 21                | 28                          | 6.16                                       | 36                        | 9Лц1Бб           |
|                |          | Бб     | 70           | VII            | 24                  |                |         | 10                | 6                           | 4.52                                       | 3                         |                  |

Примечание. Лц – лиственница Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), Бб – береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukaczew), Бч – б. даурская (*B. dahurica* Pall.), Ос – осина обыкновенная (*Populus tremula* L.).

надежный подрост. Всходы (до 2 лет) не учитывались, а их наличие свидетельствует о возникновении естественного возобновления. Успешность дальнейшего лесовосстановления и формирование растительных сообществ обеспечивают самосев в возрасте 2–5 лет и особенно подрост старше 5 лет. Успешность возобновления древесных пород оценивалась применительно к региональной шкале, разработанной ДальНИИЛХ. При установлении жизнеспособности состояние подроста подразделяли на четыре категории: хорошее, удовлетворительное, слабое, плохое (Справочник..., 2009).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Естественное возобновление исследовалось на шести пробных площадях в насаждениях, пройденных пожарами разной давности (табл. 2).

Пп 1 была подвергнута воздействию интенсивным низовым пожаром в 2011 г. Из-за изреженности северных лиственничных лесов верховые пожары в обычном их виде возникают чрезвычайно редко, что способствует сохранению генеративных особей для обсеменения постпирогенных территорий.

Состав сохранившегося древостоя складывался из трех пород: лиственницы Гмелина, березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew), с единичным участием осины обыкновенной (*Populus tremula* L.), доминировала лиственница Гмелина – 84 % от общего состава, 15 % приходилось на березу плосколистную и 1 % – на осину.

Живой напочвенный покров неоднороден, сформирован из хвоща болотного (*Equisetum palustre* L.), бузульника Фишера (*Ligularia fischeri* (Ledeb.) Turcz.), бубенчика перескиелистного (*Adenophora pereskiiifolia* (Fisch. ex Schult.) G. Don), калимериса цельнолистного (*Kalimeris integrifolia* Turcz. ex DC.), грушанки круглолистной (*Pyrola rotundifolia* L.). Проективное покрытие – от 4.0 у бузульника Фишера и до 20 у грушанки круглолистной. Отмечалось поселение представителей отдела Bryophyta, из подлесочных пород – свидина белая (*Swida alba* (L.) Opiz), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), доминировал рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun), местами сплошные заросли образовывала малина Мацумуры (*Rubus matsumuranus* H. Lev. & Vaniot), препятствующие возобновлению древесных пород.

Пожар 2011 г. уничтожил живой напочвенный покров и частично подстилку, в связи с чем

Таблица 3. Характеристика и оценка естественного возобновления

| Номер<br>пп | Порода         | Количество подроста, шт./га |                        |                          | Итого<br>на 1 га | Возраст,<br>лет | Состав<br>подроста | Состояние<br>(оценка по шкале<br>ДальНИИЛХ,<br>Справочник..., 2009)                               |
|-------------|----------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |                | мелкий,<br>менее<br>0.5 м   | средний,<br>0.51–1.5 м | крупный,<br>более 1.51 м |                  |                 |                    |                                                                                                   |
| 1           | Лц<br>Бб<br>Ос | –                           | –                      | 760<br>2270<br>140       | 3170             | 11<br>11<br>11  | 3Лц7Бб + Ос        | Плохое, необходимы<br>лесокультурные<br>мероприятия                                               |
| 2           | Бб             | –                           | 1213                   | 84                       | 1297             | 7               | 10Бб               | То же                                                                                             |
| 3           | Лц<br>Бб       | –<br>–                      | –<br>–                 | 1340<br>1510             | 2850             | 12<br>12        | 5Лц5Бб             | Недостаточное,<br>необходимы частичные<br>лесные культуры<br>или меры содействия<br>возобновлению |
| 4           | Лц<br>Бч<br>Ос | 620<br>526<br>100           | –<br>48<br>–           | –<br>–<br>–              | 1294             | 3<br>3<br>3     | 5Лц4Бч1Ос          | Плохое, необходимы<br>лесокультурные<br>мероприятия                                               |
| 5           | Лц<br>Бб       | –<br>–                      | 1515<br>31             | –<br>–                   | 1546             | 11<br>–         | 10Лц ед. Бб        | Недостаточное,<br>необходимы частичные<br>лесные культуры<br>или меры содействия<br>возобновлению |
| 6           | Лц<br>Бб       | 1200<br>1050                | –<br>–                 | –<br>–                   | 2250             | 6<br>6          | 5Лц5Бб             | Плохое, необходимы<br>лесокультурные<br>мероприятия                                               |

отмечались поселение и рост подроста лиственницы Гмелина (24 %). Подрост березы плосколистной доминировал и составлял 72 %, наблюдалось возобновление осины – 4 %.

Подрост, образовавшийся после семеношения в 2013 г., представлен лиственницей Гмелина в возрасте 11 лет высотой более 1.51 м (табл. 3).

Такие процессы способны привести к смене лиственницы Гмелина на березу плосколистную, обе породы конкурентны по светолению, кроме того, порослевой подрост березы заглушает семенное возобновление лиственницы.

Пп 2 размещалась в древостоях за минерализованной полосой (шириной 3.5 м) по отношению распространения пожара, где в 2015 г. прошел беглый низовой пожар низкой интенсивности. В составе древостоя доминирует лиственница Гмелина. На пробной площади возобновление лиственницы практически не выявлено, так как сохранился живой напочвенный покров, препятствующий возобновлению. Береза плосколистная образовала пневую поросль средней категории в количестве 1213 и 84 шт./га крупной.

Подлесок характеризуется высокой сомкнутостью полога. В его составе преобладают ольха кустарниковая (*Duschekia fruticosa* (Rupr.)

Pouzar), рябинник рябинолистный, свидина белая. Живой напочвенный покров состоит из видов, произрастающих и на пп 1.

Пп 3 заложена в насаждениях после пожара 2008 г. В древостое доминирует лиственница Гмелина. Кустарниковый ярус изрежен палами, в подлеске доминирует шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), присутствуют леспедеца двуцветная (*Lespedeza bicolor* Turcz.) с лециной разнолистной (*Corylus heterophylla* Fisch. ex Bess.). Разнообразный по составу травяной покров размещен рассеянно, отличается слабой степенью проективного покрытия (0.8) и наличием доминанта – орляка обыкновенного (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) с участием брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и грушанки крупнолистной.

Естественное возобновление характеризуется общим количеством 2850 шт./га. По породному составу (5Лц5Бб) подрост крупной категории (средний возраст 12 лет) распределяется следующим образом: лиственница – 1340 шт./га, береза – 1510 шт./га. На пробной площади наблюдается тенденция формирования смешанных лиственничных древостоев.

Пп 4 заложена на постпирогенных землях 3-летней давности, здесь произрастает смешанный по составу древостой: 8Лц1Бч1Бб + Ос

с участием березы даурской (*Betula dahurica* Pall.), древесной породы, не выявленной на вышеописанных пробных площадях.

На исследованной площади после пожара высокой интенсивности сохранились сухостойные деревья березы плосколистной и б. даурской, осины, при этом погибших деревьев лиственницы не выявлено.

За послепожарный период местами образовалась дернина из вейника Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin.). Проективное покрытие орляка обыкновенного – рассеянно (0.8); брусники и грушанки круглолистной довольно обильно (4.0); куртинно встречаются ландыш Кейске (*Convallaria keiskei* Miq.) и купена аптечная (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce).

Естественное возобновление отличается мелким (высотой до 0.5 м) подростом лиственницы Гмелина – 1620 шт./га, березы плосколистной – 526 шт./га, осины – 100 шт./га и средним подростом березы даурской – до 48 шт./га. Состав подроста 5Лц4Бч1Ос. Наблюдаются сукцессионные процессы, связанные со сменой пород в формировании будущего древостоя.

Пп 5 располагается в насаждениях, которые подвергались неоднократному пирогенному воздействию низовыми пожарами слабой интенсивности (в 2004 и 2008 гг.), в результате чего сохранился чистый по составу древостой – 10Лц.

Растительные сообщества отличаются рассеянным и единичным размещением травяно-мохового покрова. В травяном покрове отмечены представители отдела Bryophyta – осока придатконосная (*Carex appendiculata* (Trautv. & C. A. Mey.) Kuk.), брусника, толокнянка обыкновенная (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng.). Подлесочный полог не сомкнут. Здесь изредка встречаются смородина дикуша (*Ribes dikuscha* Fisch. ex Turcz.), береза низкая (*Betula humilis* Schrank.), багульник болотный, их количество незначительно. Молодняков на площади нет, так как из-за периодичности палов возобновление наиболее подвержено огню, в котором погибают молодые деревья из-за тонкого слоя коры. Подроста лиственницы Гмелина 11-летнего возраста высотой до 1.5 м, недостаточно для обеспечения продуктивных насаждений, его количество 1515 шт./га, кроме того, на данной пробной площади отмечается единичное участие подроста березы плосколистной – 31 шт./га.

На пп 6, пройденной низовым пожаром средней интенсивности в 2016 г., состав древесного

яруса представлен двумя породами – 9Лц1Бб. Естественное возобновление недостаточное, отличается наличием мелкого подроста лиственницы Гмелина – 1200 шт./га; береза плосколистная возобновляется как порослью, так и от семян, в количестве 1050 шт./га, требуется проведение лесокультурных мероприятий. Состав подроста 5Лц5Бб.

Из кустарников в подлесочном пологе представлены спирея иволлистная (*Spiraea salicifolia* L.), свидина белая, рябинник рябинолистный. Травяной покров не отличается разнообразием видов, где наблюдается постпирогенное восстановление брусники, орляка обыкновенного, купены аптечной, от единичного размещения до куртинного с довольно обильным размещением экземпляров.

На пп 1 прослеживается возможность смены главной породы лиственницы на сопутствующую – березу плосколистную. Формирующийся живой напочвенный покров – из видов, обильное проективное покрытие которых заглушает всходы лиственницы. Прорастанию семян главной породы препятствуют не только поселяющиеся представители отдела Bryophyta, но и подлесочный полог, особенно полукустарники, образуя сплошные заросли малины Мацумуры.

Такие процессы способны привести к смене лиственницы на берёзу плосколистную, обе породы конкурентны по светолюбию, кроме того, порослевой подрост берёзы плосколистной заглушает семенное возобновление лиственницы, с нашей точки зрения, крупный подрост лиственницы со временем сможет способствовать восстановлению смешанных лиственничных древостоев.

На пп 2 в квартале 364 после пожара 2015 г. выявлен подрост березы плосколистной средней категории. Сохранившаяся и обильная быстро восстанавливающаяся травяно-моховая растительность, отсутствие генеративных особей лиственницы способствуют образованию пней поросли берёзы плосколистной после низового пожара. Наличие порослевого подроста берёзы плосколистной средней категории создает условия формирования чистых березняков.

На пп 3 в естественном возобновлении конкурирует подрост лиственницы и березы плосколистной, превышающий 1.51 м. Поврежденный лесным пожаром кустарниковый ярус с довольно обильным проективным покрытием травяным покровом, обеспечил тенденцию формирования смешанных лиственничных древостоев.



На постпирогенных землях 3-летней давности (пп 4) возобновление отмечено и мелким подростом лиственницы, осины, березы даурской. Дальнейшему возобновлению будет препятствовать довольно обильное размещение живого напочвенного покрова с образовавшейся дерниной из вейника Лангсдорфа. Подрост лиственницы и березы даурской высотой до 0.5 м будет играть основную роль в формировании будущего древостоя, на его состав может оказывать влияние осина, которая быстро корневыми отпрысками завоевывает территории.

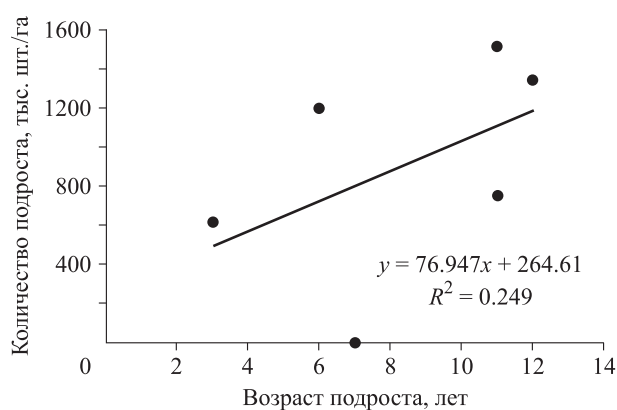
В лиственничниках, сформировавшихся после неоднократных низовых пожаров (пп 5), представлен средний подрост лиственницы и в небольшом количестве – берёзы плосколистной. Проникновению и прорастанию семян древесных пород способствует слабосомкнутый кустарниковый ярус и рассеянное травяно-моховое покрытие, состоящее из представителей гигрофильной растительности. В 2013 и 2021 гг. в Амурской области наблюдались катастрофические наводнения, которые привели к гибели и затоплению не только всходов, но и самосева, а лесные пожары 2004 и 2008 гг. уничтожили молодое поколение, которое можно было перевести в категорию молодняков.

Мелким подростом отличается возобновление на пп 6 двух древесных пород – лиственницы Гмелина и березы плосколистной – при благоприятно сложившихся условиях: отсутствия лесных пожаров, поздних весенних заморозков, засух или наводнений, равномерно повторяющихся урожайных лет, могут сформироваться естественные сложные древостои, что объясняется эколого-биологическими особенностями пород: они неприхотливы к почвенным условиям, растут в криолитозоне, на сухих и сырых местах, и, благодаря поверхностной корневой системе, имеют высокую конкурентоспособность.

Однако количество подроста на пробных площадях недостаточно для формирования высокопродуктивных древостоев.

Для выявления связи между периодом пирогенного воздействия на древостои на территории Мазановского участкового лесничества и количеством подроста главной лесобразующей древесной породы – лиственницы Гмелина, произрастающей в криолитозоне, рассчитано корреляционное уравнение, определен индекс детерминации ( $R^2 = 0.249$ ) (см. рисунок).

Использование метода позволяет дать адекватную и достоверную количественно оценку взаимосвязи данных признаков.



Зависимость восстановления главной породы от давности пожаров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях криолитозоны Амурской области наблюдаются естественное лесовосстановление на лесных землях, пройденных пожарами, как правило, формируются многокомпонентные, сложные по составу, устойчивые насаждения при минимальных трудозатратах. Главной породой северных территорий, где расположено Мазановское лесничество, является лиственница Гмелина. Однако естественное лесовосстановление обладает рядом недостатков: возможность смены хозяйственно-ценных пород на малоценные мягколиственные, в том числе за счет поросли и отпрысков; высока вероятность заболачивания территории после гибели древостоев в районах с многолетне-мерзлотными почвами; замедленный рост и развитие молодого поколения семенного происхождения; для формирования породного состава необходимо проведение рубок ухода.

Подростом крупной категории главной породы лиственницы (1510 шт./га) сравнительно обеспечены насаждения, пройденные пожаром, исследованные в квартале 396 на пп 3 и требующие проведения частичных культур или мер содействия возобновлению, на остальных пробных площадях (пп 1, 2, 4–6) необходимо проведение лесокультурных мероприятий.

Вследствие высокой доли покрытия живым напочвенным покровом (до 20 %) и местами сомкнутого подлесочного яруса, препятствующего прорастанию семян, отмечается вероятность смены главной породы на сопутствующую – берёзу плосколистную в насаждениях 364 квартала, где закладывалась пп 1.

На пп 2, отмечается единичный самосев лиственницы и доминирование порослевого возобновления березы плосколистной (1297 шт./га),

возможно образование насаждений, в которых будет господствовать малоценная порода. Подрост средней категории лиственницы на пп 5 в недостаточном количестве (1515 шт./га), при его сохранении и проведении лесокультурных мероприятий он может занять господствующее положение.

С небольшим преобладанием подрост мелкой категории лиственницы (1200 шт./га) перед подростом березы плосколистной (1050 шт./га) выявлен на пп 6, по региональной оценочной шкале – в недостаточном количестве. В условиях хорошего обсеменения в последующие годы и посадки главной породы сможет восстановиться древостой с доминированием лиственницы.

Практически на всех исследованных территориях Мазановского участкового лесничества отмечается естественное возобновление на землях, пройденных пожаром, главной древесной породы – лиственницы Гмелина. Кроме неё в возобновлении участвуют и сопутствующие древесные породы – береза плосколистная и б. даурская, осина, однако их возобновление – недостаточное для формирования высокопродуктивных древостоев.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондур В. Г., Мохов И. И., Воронова О. С., Ситнов С. А. Космический мониторинг сибирских пожаров и их последствий: особенности аномалий 2019 г. и тенденции 20-летних изменений // Докл. РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 99–106.
- Замолодчиков Д. Г., Иванов А. В., Юст Н. А., Тимченко Н. А. Средообразующие функции защитных лесов Амурской области // Сиб. лесн. журн. 2022. № 6. С. 12–21.
- Кондратова А. В., Абрамова Е. Р., Брянин С. В. Разложение основных типов опада и высвобождение азота в постпирогенных лиственничниках Дальнего Востока России // Сиб. экол. журн. 2021. № 2. С. 214–226.
- Пономарев Е. И., Швецов Е. Г., Харук В. И. Интенсивность горения в оценке эмиссий от пожаров // Экология. 2018. № 6. С. 440–447.
- Справочник для таксации лесов Дальнего Востока: справ. изд. / отв. сост. и науч. ред. В. Р. Корякин. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 612 с.
- Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- Харук В. И., Пономарев Е. И. Пространственно-временная горимость лиственничников Центральной Сибири // Экология. 2017. № 6. С. 413–419.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
- Щепаченко Д. Г., Швиденко А. З., Лесив М. Ю., Онтиков П. В., Щепаченко М. В., Краксерн Ф. Площадь лесов России и ее динамика на основе синтеза продуктов дистанционного зондирования // Лесоведение. 2015. № 3. С. 163–171.
- Яковлев С. Е., Андреев Д. В. Расчет экономического эффекта от применения спутникового мониторинга лесных пожаров в Республике Саха (Якутия) // Моск. экон. журн. 2021. № 5. С. 77–80.
- Barrett K., Baxter R., Kukavskaya E., Balzter H., Shvetsov E., Buryak L. Postfire recruitment failure in Scots pine forests of southern Siberia // Rem. Sens. Environ. 2020. V. 237. Article 111539.
- Bondur V. G., Mokhov I. I., Voronova O. S., Sitnov S. A. Satellite monitoring of Siberian wildfires and their effects: Features of 2019 anomalies and trends of 20-year changes // Doklady Earth Sci. 2020. V. 492. Iss. 1. P. 370–375 (Original Rus. text © V. G. Bondur, I. I. Mokhov, O. S. Voronova, S. A. Sitnov, 2020, publ. in Dokl. Ros. Akad. nauk. Nauki o Zemle, 2020. V. 2. N. 1. P. 99–106).
- Bryanin S., Kondratova A., Abramova E. Litter decomposition and nutrient dynamics in fire-affected larch forests in the Russian Far East // Forests. 2020. V. 11. Iss. 8. Article 882. 14 p.
- Chen D., Loboda T. V. Surface forcing of non-stand-replacing fires in Siberian larch forests // Environ. Res. Lett. 2018. V. 13. N. 4. Article 045008. 10 p.
- Dyadchenko O., Timchenko N., Baranov A. Influence of permanent and variable factors on the number and area of forest fires in the Amur Region // E3S Web Conf. Ecol. & Biol. Well-being flora and fauna (EBWFF-2020). 2020. V. 203. Article 03002. 10 p.
- Hu T., Hu H., Li F., Zhao B., Wu S., Zhu G., Long S. Long-term effects of post-fire restoration types on nitrogen mineralisation in a Dahurian larch (*Larix gmelinii*) forest in boreal China // Sci. Total Environ. 2019. V. 679. P. 237–247.
- Ivanov A. V., Neumann M., Darman G. F., Danilov A. V., Susloparova E. S., Solovyov I. D., Kravchenko O. M., Smuskina I. N., Bryanin S. V. Vulnerability of larch forests to forest fires along a latitudinal gradient in eastern Siberia // Can. J. For. Res. 2022. V. 52. N. 12. P. 1543–1552.
- Kharuk V. I., Ponomarev E. I. Spatiotemporal characteristics of wildfire frequency and relative area burned in larch-dominated forests of Central Siberia // Rus. J. Ecol. 2017. V. 48. P. 507–512 (Original Rus. text © V. I. Kharuk, E. I. Ponomarev, 2017, publ. in Ekologiya. 2017. N. 6. P. 413–419).
- Kharuk V. I., Im S. T., Petrov I. A., Dvinskaya M. L., Fedotova E. V., Ranson K. J. Fir decline and mortality in the southern Siberian Mountains // Reg. Environ. Change. 2017. V. 17. Iss. 3. P. 803–812.
- Khatanchaeroen Ch., Tsuyuki S., Bryanin S., Sugiura K., Seino T., Lisovsky V. V., Borisova I. G., Wada N. Long-time interval satellite image analysis on forest-cover changes and disturbances around protected area, Zeya state nature reserve, in the Russian Far East // Remote Sens. 2021. V. 13. Iss. 7. Article 285. 22 p.
- Kondratova A. V., Abramova E. R., Bryanin S. V. Decomposition of main litter types and nitrogen release in post-fire larch forests of the Russian Far East // Contemp. Probl. Ecol. 2021. V. 14. Iss. 2. P. 171–181 (Original Rus. text © A. V. Kondratova, E. R. Abramova, S. V. Bryanin, 2021, publ. in Sib. ekol. zhurn. 2021. N. 2. P. 214–226).
- Ponomarev E. I., Kharuk V. I., Ranson K. J. Wildfires dynamics in Siberian larch forests // Forests. 2016. V. 7. Iss. 6. Article 125. 8 p.

- Ponomarev E. I., Shvetsov E. G., Kharuk V. I. The intensity of wildfires in fire emissions estimates // *Rus. J. Ecol.* 2018. V. 49. Iss. 6. P. 492–499 (Original Rus. text © E. I. Ponomarev, E. G. Shvetsov, V. I. Kharuk, 2018, publ. in *Ekologiya*. 2018. N. 6. P. 440–447).
- Ponomarev E., Masyagina O., Litvintsev K., Ponomareva T., Shvetsov E., Finniov K. The effect of post-fire disturbances on a seasonally thawed layer in the permafrost larch forests of central Siberia // *Forests*. 2020. V. 11. Iss. 8. Article 790. 17 p.
- Schepaschenko D. G., Shvidenko A. Z., Lesiv M. Yu., Ontikov P. V., Schepaschenko M. V., Kraxner F. Estimation of forest area and its dynamics in Russia based on synthesis of remote sensing products // *Contemp. Probl. Ecol.* 2015. V. 8. P. 811–817 (Original Rus. text © D. G. Schepaschenko, A. Z. Shvidenko, M. Yu. Lesiv, P. V. Ontikov, M. V. Shchepashchenko, F. Kraxner, 2015, publ. in *Lesovedenie*. 2015. N. 3. P. 163–171).
- Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G. Climate change and wildfires in Russia // *Contemp. Probl. Ecol.* 2013. V. 6. P. 683–692 (Original Rus. text © A. Z. Shvidenko, D. G. Schepaschenko, 2013, publ. in *Lesovedenie*. 2013. N. 5. P. 50–61).
- Tkachenko K., Firsov G., Volchanskaya A. Climate warming and changes in the reproductive capacity of woody plants // *Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the Far East (AFE-2021). Agricultural innovation systems* / A. Muratov, S. Ignat'eva (Eds.). Springer Cham, 2022. V. 1. P. 573–580.
- Weng Y., Yang G., Wang L., Quan X., Di X., Yu H., Han D. Changes in water-soluble nitrogen and organic carbon in the post-fire litter layer of Dahurian larch forests // *Plant Soil*. 2021. V. 464. Iss. 1–2. P. 131–148.
- Zhao F. J., Shu L. F., Wang M. Yu., Liu B., Yang L. J. Influencing factors on early vegetation restoration in burned area of *Pinus pumila* – larch forest // *Acta Ecol. Sin.* 2012. V. 32. Iss. 2. P. 57–61.
- Zyryanova O. A., Abaimov A. P., Bugaenko T. N., Bugaenko N. N. Recovery of forest vegetation after fire disturbance In: *Permafrost ecosystems. Ecol. stud. (Analysis and synthesis)*. V. 209 / Osawa A., Zyryanova O., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R. (Eds.). Springer, Dordrecht, 2010. P. 83–96.
- Zyryanova O. A., Yaborov V. T., Tchikhacheva T. L., Koike T., Kobayashi M., Matsuura Y., Satoh F., Zyryanov V. The structure and biodiversity after fire disturbance in *Larix gmelinii* (Rupr.) // *Euras. J. For. Res.* 2020. V. 10. N. 1. P. 19–29.

## POST-PYROGENIC REGENERATION OF GMELINS' LARCH IN AMUR OBLAST

N. A. Timchenko<sup>1</sup>, K. G. Tkachenko<sup>2</sup>, N. A. Yust<sup>1</sup>, O. N. Shcherbakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Far Eastern State Agrarian University

Polytekhnicheskaya str., 86, Blagoveshchensk, 675006 Russian Federation

<sup>2</sup> Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences

Professor Popov str., 2, St. Petersburg, 197376 Russian Federation

---

E-mail: timchenko-nat@mail.ru, ktkachenko@binran.ru, yustnatal@mail.ru, olesya-2512@mail.ru

The article provides an analysis of the Gmelins' larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) (Pinaceae) natural regeneration, which were studied on lands located in the permafrost zone. The study was carried out in order to identify the course of regeneration processes in areas subjected to pyrogenic effects from forest fires. The restoration of larch forests depends on many factors, the success of which is ensured by the favorable conditions that arise after their impact. This is due to biological, climatic, soil conditions, characteristics of seed production, their maturation, harvest periods, and other factors, including silvicultural conditions. According to the tasks of analysis and evaluation of the natural regeneration of tree species, and the further formation of forest stands, they were carried out according to the method of sample plots established in forest stands, passed by fires of different prescriptions in the Mazanovsky forestry district of Amur Oblast. Six sample plots of a rectangular shape were laid on the lands of the forest fund, subjected to pyrogenic effects in different years. For a detailed study on accounting sites, the young generation of trees was taken into account in terms of quantitative indicators, projective cover, size and qualitative characteristics. Regeneration was assessed on a regional scale for the Far East. According to the results of data processing, tendencies are noted to change from coniferous to deciduous species on sample plots 1 and 2 in the case of preservation of grass-moss cover and forest litter, as well as with intensive vegetative renewal of deciduous species. Preservation of the dominant for Gmelins' larch is observed under favorable soil conditions and fruitful years before the formation of forest litter and living ground cover on sample plots 3 and 5. For the first time for mixed forest stands in the northern region of Amur Oblast (on the example of the Mazanovsky forestry district), it was revealed that as a result of repeated fire impact on forest ecosystems, there are prerequisites for the formation of pure larch forests with a low participation of associated species, depending on the period of fruiting of the main economic species – Gmelins' larch and pyrogenic impact on the forest floor.

**Keywords:** *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), assessment scales for natural regeneration, undergrowth, shrub layer, sample plot, permafrost.

**How to cite:** Timchenko N. A., Tkachenko K. G., Yust N. A., Shcherbakova O. N. Post-pyrogenic regeneration of Gmelins' larch in Amur Oblast // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 68–77 (in Russian with English abstract and references).



УДК 630\*561.24+502.4(470.12)

## ОСОБЕННОСТИ РОСТА ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ-ИНТРОДУЦЕНТОВ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. М. Корякина, Н. А. Дружинин, Ф. Н. Дружинин

Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия им. Н. В. Верещагина  
160555, Вологда, с. Молочное, ул. Панкратова, 9а, корп. 7

E-mail: koryakina.dary@yandex.ru, drujinin.n.a@yandex.ru, drujinin@mail.ru

Поступила в редакцию 26.05.2023 г.

В научной литературе крайне мало работ по результатам многолетней интродукции. Полученные данные о насаждениях на ООПТ, включающие в свои составы древесные виды-интродуценты, важны как с теоретической, так и практической точек зрения. Насаждения на объектах садово-паркового искусства представляют научную, производственную и образовательную базу. Исследовались старовозрастные деревья, произрастающие на 18 объектах ООПТ Вологодской области. Установлено, что у 74 % сравниваемых древесно-кольцевых хронологий с учетом лесорастительных районов отсутствуют связи, у 16 % – она низкая, у 10 % – средняя. На основании денрохронологического и дендроклиматического анализов установлен относительный вклад различных факторов, с учетом биологических особенностей древесных пород на формирование годичных колец. Отмечается положительная реакция (отклик по радиальному приросту) на сумму положительных температур у дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) при значениях более 2000 °С. В свою очередь, отрицательный отклик зафиксирован у лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) при сумме эффективных температур менее 1900 °С. Для сосны сибирской выявлено, что при уровне осадков более 300 мм и при сумме эффективных температур за вегетационный период менее 2000 °С радиальный прирост повышен. Выполненное исследование позволило дать заключение о том, что не для всех древесных видов интродуцентов, тепловой режим на Европейском Севере является лимитирующим фактором, что важно для введения древесных видов-интродуцентов в культуру в рассматриваемом регионе. Отсутствие своевременного ухода за насаждениями на ООПТ, неудачное сочетание древесных видов и агротехника формирования этих объектов отразились на замедлении темпов роста, особенно на начальных этапах роста и развития инорайонных древесных видов. Древесно-кольцевые хронологии получены для региона впервые, при сравнении они характеризуются высокой синхронностью между собой. Эти данные позволяют утверждать наличие связей и общих закономерностей в росте и развитии растений независимо от их территориального размещения, а все различия связаны только с индивидуальными особенностями роста и развития каждой древесной породы.

**Ключевые слова:** особо охраняемые природные территории, памятник природы, интродуценты, стадии роста и развития, денрохронология, дендроклиматология, древесно-кольцевые хронологии, радиальный прирост.

DOI: 10.15372/SJFS20240610

### ВВЕДЕНИЕ

Интродукция растений – это перенос и разведение растений за пределами их естественного ареала распространения. Данное селекционное направление с давней историей своими корнями уходит к первобытному обществу. По мере развития от стихийной деятельности оно приобрело черты осознанного методического характера.

Наиболее достоверные представления о возможностях интродукции дает практический опыт. Многие авторы отмечают, что благодаря своим морфологическим признакам, биологическим свойствам и экологическим требованиям деревья-экзоты, характеризуются высокой продуктивностью и перспективностью для их ввода в культуру (Бакулин и др., 2008; Коропачинский и др., 2011; Koropachinskii et al., 2011;

Коропачинский, Лоскутов, 2014; Мерзленко, 2017, 2018, 2019; Дружинин и др., 2018, 2020; Дубенок, 2020; Брынцев, 2022).

Следует отметить, что лесоразведение на Европейском Севере не соответствует темпам освоения природных богатств этого обширного региона. Имеющиеся центры интродукции малочисленны, а использование интродуцентов при воспроизводстве лесов крайне незначительное и ограничено в основном городским озеленением (Жуков, Черакшев, 2016).

На основе анализа литературных и архивных данных можно заключить, что интродукция растений на Европейском Севере большей частью связана с деятельностью ботанических садов. До настоящего времени работы в этом направлении еще продолжаются и не завершены. Отсутствуют сведения и данные о возможности культивирования экзотов, нет научно-методических обоснований ввода древесных видов-интродуцентов в культуру по объектам РФ. В связи с этим крайне важно использовать накопившийся опыт многолетней интродукции, который позволит комплексно решать стоящие перед лесным хозяйством задачи по повышению экологической продуктивности лесов.

По определяемым качественным и количественным показателям насаждений (таксационные показатели, санитарная оценка) в полной мере невозможно оценить жизнедеятельность (рост и развитие) интродуцированных растений и установить степень влияния факторов внешней среды на них. В связи с этим для комплексной оценки необходимо использовать помимо лесоводственных методы дендрохронологического и денроклиматического анализа данных.

В основном методы дендрохронологии и денроклиматологии применялись для оценки изменений природных условий, а в настоящее время используется в качестве фитоиндексации антропогенного воздействия на экосистемы. Их сущность заключается в том, что с учетом территориального размещения насаждений и лесорастительных условий радиальный прирост откладывается под воздействием различных экологических факторов (Schweingruber, 1988; Румянцев, 2015; Матвеев, Тимашук, 2019; Шиятов и др., 2000). Условно их можно разделить на две группы. Первая в той или иной степени связана с солнечной активностью, оказывающей большое влияние на температуру и количество осадков, которые находятся в причинно-следственной связи с солнечными циклами. Вторая группа обусловлена особенностями места

произрастания дерева: рельефом, почвой, ее температурой, уровнем грунтовых вод и их колебаниями, а также взаимоотношениями растительных организмов в древесном сообществе (Хох, Кузменков, 2016; Петров и др., 2021; Petrov et al., 2021; Lukashik et al., 2021).

Цель исследования – комплексная оценка роста и развития древесных видов-интродуцентов в насаждениях на особо охраняемых природных территориях.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены в Вологодской области на территории Вологодского («Старый парк» в с. Куркино, «Старый парк» в пос. Можайское, «Парк Мира», «Старый парк» в дер. Грибцово), Грязовецкого («Старый парк» в дер. Покровское, «Старинный парк в дер. Юрово», «Старый парк» в дер. Юношеское), Сокольского («Старый парк» в дер. Кузнецово, «Старый парк» в дер. Горка), Бабаевского («Старый парк» в с. Борисово-Судское), Верховажского (парк «Дудрова»), Великоустюгского («Липовая роща», «Старинный парк Спирино»), Устюженского («Старый парк» в пос. Даниловское, «Дендропарк» в г. Устюжье, «Старый парк» в дер. Большое Восное, «Сосновая аллея», «Старый парк» в пос. Михайловское) муниципальных районов. Основная часть (40 %) особо охраняемых природных территорий (ООПТ) выделена в период с 1982 по 1990 г.

Предметом исследования были количественные показатели роста древесных видов-интродуцентов по стадиям их развития, объектом исследования – старовозрастные деревья.

Дендрохронологическую оценку проводили на основе изучения и анализа радиальных приростов у древесных видов-интродуцентов. В ходе исследования с 2016 по 2021 г. на 18 объектах отобраны керны у паспортизированных древесных растений (Дружинин и др., 2018; Дружинин, 2020). Высота изъятия керна – до 50–60 см от шейки корня.

Все керны были сгруппированы в зависимости от расположения объектов исследования по лесному районированию и районам: Балтийско-Белозерскому (запад, центр, восток), южно-таежному (запад, центр). Ширину годичных колец измеряли на комплексе LINTAB-6 с использованием программного пакета TSAP, а качество датировки оценивали с помощью программного обеспечения COFECNA (Holmes,

Таблица 1. Глоссарий по статистическим показателям

| Индекс    | Показатель                                 | Определение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Glk (Cх)  | Показатель сходства или сходных интервалов | Отражает долю совпадающих увеличений и уменьшений прироста для двух серий годовичных приростов                                                                                                                                                                                                                                    |
| CC        | Коэффициент корреляции Пирсона             | Показывает сходство двух древесно-кольцевых рядов (закономерность увеличения без фактического увеличения) с учетом возрастного тренда в сериях годовичных колец                                                                                                                                                                   |
| CDI (CDI) | Индекс перекрестного датирования           | Интегральный показатель, определяемый для двух серий ширины годовичных колец с учетом протяженности интервала пересечения на основе следующих статистических параметров: коэффициента синхронности (Glk), коэффициента корреляции (CC), <i>t</i> -статистики, критерия Стьюдента (TVBP, TVH) для сглаженных и несглаженных серий. |
| TV BP     | <i>t</i> по Бэлли и Пильчеру               | Показатель <i>t</i> после выравнивания кривой со скользящим средним значением с шириной полосы = 5 и логарифмирования по основанию <i>e</i>                                                                                                                                                                                       |
| TV H      | <i>t</i> по Хольштайну                     | Показатель <i>t</i> после выравнивания кривой по возрастающему значению                                                                                                                                                                                                                                                           |

1995). На основе анализа значений радиального прироста выполнялась оценка роста и развития доминантных видов по стадиям онтогенеза.

Для установления пригодности древесно-кольцевых хронологий для анализа определяли следующие статистические коэффициенты: коэффициент синхронности (Glk, Gleichlaufigkeit), коэффициент корреляции Пирсона (CC, Cross Correlation), индекс перекрестного датирования (CDI, Cross-Dating Index) (Huber, 1943; Eckstein, Bauch, 1969; Fritts, 1976; Жуков, Черакшев, 2016; Чернов и др., 2019; Агафонов и др., 2021; Agafonov et al., 2021; Рыгалова, 2022) (табл. 1).

Обобщенные хронологии по всем объектам исследования сравнивались между собой и объединялись в группы (Балтийско-Белозерский (запад, центр, восток); южно-таежный (запад, центр). При их построении использовались древесные образцы (керны), у которых проявлялась максимальная корреляция радиальных приростов друг с другом, что было необходимо для получения обобщенных и генерализированных дендрохронологических древесно-кольцевых хронологий.

Для датирования индивидуальных древесно-кольцевых хронологий в первую очередь было выполнено перекрестное датирование образцов между собой по каждой породе на каждой ООПТ с использованием перечисленных выше коэффициентов (Cherubini et al., 2020; Coulthard et al., 2020; Davis et al., 2020; Cherakshev, 2021).

Для устранения различий в возрасте с использованием программного обеспечения ARSTAN проводили стандартизацию абсолют-

ных значений, что позволило исключить индивидуальные особенности роста деревьев и учесть изменчивость в значениях радиального прироста по диаметру. Для установления влияния климатических переменных (суммы эффективных температур воздуха и атмосферных осадков за гидрологический год), лимитирующих рост и развитие древесных видов интродуцентов, выполнялся анализ отклика стандартизированной древесно-кольцевой хронологии. Для исключения влияния на значения радиального прироста нескольких предшествующих лет применялись Аг- и Агма-моделирование с учетом информационного критерия Акайка. Результатом стали «выбеленные» древесно-кольцевые хронологии.

Для оценки возрастных этапов развития применялась классификация Е. П. Смолоногова (1991), отражающая индивидуальное развитие каждого паспортизированного растения:

- возобновление (инфантильная стадия) – до 5 лет для хвойных пород, до 2 лет для лиственных;
- молодняк (первая ювенильная) – от 6 до 30 лет для хвойных древесных пород, от 2 до 10 лет для лиственных;
- жердняк (вторая ювенильная) – 30–40 лет для хвойных пород, 10–20 лет для лиственных;
- возмужалость (первая адолесцентная) – III и IV классы возраста;
- зрелость (вторая адолесцентная) – V класс возраста;
- старение и отпад (сенильная) – VI и последующие классы возраста.

На основе коэффициентов синхронности определялись различия в ширине соседних го-

дичных колец и оценивалось воздействие факторов среды на их формирование. На основании сравнения многолетних данных по выпавшим осадкам и суммам положительных температур за вегетационный период (май – октябрь) рассчитан гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова. Элементы климата моделировали посредством оценки передаточной функции через множество коэффициентов, применяемых к индексам прироста для получения климатических оценок. Передаточная функция получалась обращением функции отклика в определенном периоде инструментальных климатических данных. Надежность функции и адекватность моделирования обеспечивается посредством выбора хронологий, несущих в себе сильный и одинаковый климатический сигнал.

Индивидуальные хронологии по каждой древесной породе объединялись в обобщенные хронологии по объекту исследования. После получения индексированных рядов проводилось группирование для получения обобщенных рядов с усредненными показателями, построенное

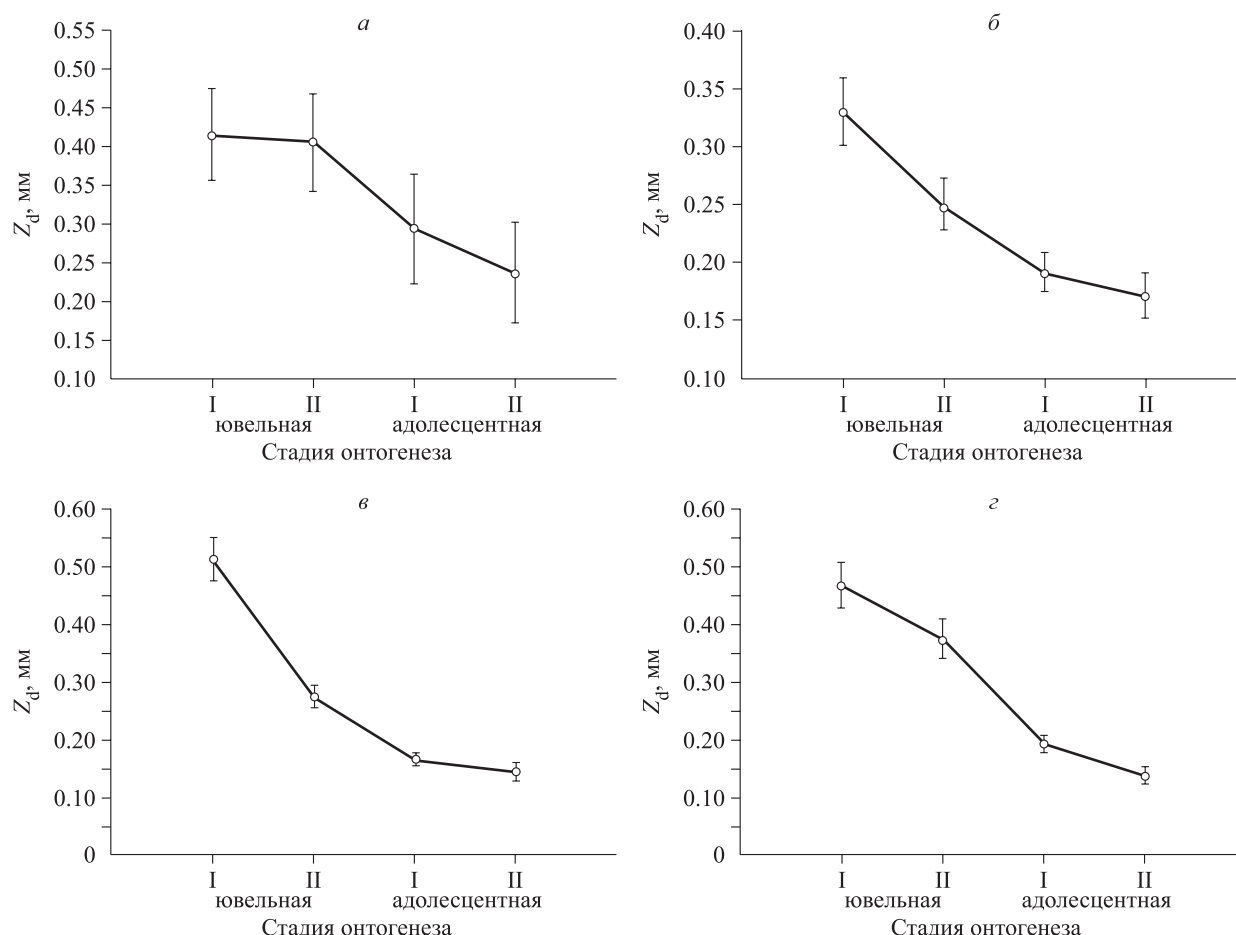
на основе среднего арифметического робастного оценивания или максимальной моды. Это позволило составить из совокупности деревьев одного вида, произрастающих в различных типах местообитания, генерализированные древесно-кольцевых хронологии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках исследования определялся радиальный прирост и оценивался ход роста по стадиям развития (рис. 1).

Среднегодовой радиальный прирост у деревьев на ювенильной стадии варьирует от 0.33 см/год (липа мелколистная) до 0.51 см/год (лиственница сибирская). На этой стадии развития деревьев отмечаются наибольшие значения у всех пород-интродуцентов.

Наибольший среднепериодический радиальный прирост формируется на ювенильной стадии развития (34–66 % от общего прироста) у лиственницы сибирской и сосны сибирской.



**Рис. 1.** Среднепериодический радиальный прирост доминантных видов на разных стадиях роста и развития. а – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.); б – липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.); в – лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.); г – сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour). Вертикальные столбцы обозначают  $\pm$  стандартные ошибки.



**Таблица 2.** Статистический анализ обобщенных древесно-кольцевых хронологий

| Вид             | Сравниваемые обобщенные хронологии | Число лет перекрытия | Коэффициент     |                    | Древесно-кольцевые хронологии |                              |                        | Индекс перекрестных данных |
|-----------------|------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                 |                                    |                      | синхронности, % | корреляции Пирсона | обобщенные                    | <i>t</i> по Бэлли и Пильчеру | <i>t</i> по Хольштайну |                            |
| Д <sub>ч</sub>  | ЮТЗ и ЮТЦ                          | 117                  | 54              | –0.23              | 2.5                           | 2.3                          | 2.2                    | 12                         |
| К <sub>с</sub>  | ББВ и ЮТЦ                          | 42                   | 48              | –0.15              | 0.9                           | 1.6                          | 0.8                    | 6                          |
| Л <sub>л</sub>  | ББВ и ЮТЗ                          | 120                  | 44              | 0.33               | 3.8                           | 0.6                          | 1.7                    | 5                          |
|                 | ББВ и ЮТЦ                          | 142                  | 51              | 0.26               | 3.2                           | 1.2                          | 1.7                    | 8                          |
|                 | ЮТ и ЮТЦ                           | 120                  | 45              | –0.23              | 2.5                           | 1.9                          | 1.4                    | 7                          |
| Л <sub>сб</sub> | ББЦ и ББЗ                          | 27                   | 54              | 0.29               | 1.5                           | 0.2                          | 0.8                    | 3                          |
|                 | ББЦ и ЮТЦ                          | 28                   | 69              | –0.09              | 0.4                           | 2.4                          | 1.8                    | 14                         |
|                 | ББЦ и ЮТЗ                          | 27                   | 54              | –0.04              | 0.2                           | 1.1                          | 1.2                    | 6                          |
|                 | ББЗ и ЮТЦ                          | 107                  | 62              | 0.76               | 11.8                          | 2.7                          | 2.8                    | 17                         |
|                 | ББЗ и ЮТЗ                          | 107                  | 51              | –0.28              | 3.0                           | 1.9                          | 1.2                    | 8                          |
|                 | ЮТЦ и ЮТЗ                          | 152                  | 58              | –0.23              | 2.9                           | 1.1                          | 1.6                    | 8                          |

*Примечание.* Д<sub>ч</sub> – дуб черешчатый; К<sub>с</sub> – сосна сибирская; Л<sub>л</sub> – липа мелколистная; Л<sub>сб</sub> – лиственница сибирская; ЮТЗ, ЮТЦ – ООПТ западной или центральной части южно-таежного лесного района; ББЗ, ББВ, ББЦ – ООПТ восточной, западной или центральной части Балтийско-Белозерского таежного лесного района.

Для липы мелколистной наибольшие значения фиксируются на сенильной стадии (44 %), что связано, на наш взгляд, с особенностями их роста и условиями местопроизрастания.

На завершающем этапе (I подростная стадия) наблюдается постепенное снижение среднепериодического прироста. Минимальное значение на этой стадии онтогенеза составило 0.17 см/год (лиственница сибирская). Снижение энергии роста в последующие периоды связано с отсутствием уходов на ООПТ, с возрастанием внутривидовой и межвидовой конкуренции.

Синхронность изменения ширины годичных колец в обобщенных древесно-кольцевых хронологиях характеризовалась средними и высокими показателями (табл. 2).

Коэффициенты корреляции по древесным видам-интродуцентам и объектам исследования колебались от –0.28 до 0.80, коэффициенты синхронности – от 38 до 69 %, а между группируемыми индивидуальными древесно-кольцевыми хронологиями в большинстве случаев показали значительную и высокую тесноту связи.

Анализ обобщенных древесно-кольцевых хронологий позволил выявить наиболее сходные по полученным данным районы исследования и их части. В общей сложности получено четыре генерализированных древесно-кольцевых хронологий (рис. 2).

При их формировании для дуба черешчатого использовано 12 образцов, для сосны сибирской – 7, для липы мелколистной – 14, для лиственницы сибирской – 24. Длина древесно-кольцевых рядов составила от 145 кален-

дарных лет (для липы мелколиственной) до 170 у дуба черешчатого.

При этом значение радиального прироста у всех древесных видов-интродуцентов остаются на высоком уровне даже в возрасте старше 140 лет. Отмечены календарные годы, когда у липы мелколистной и дуба черешчатого происходит снижение темпов роста. В 1896–1901 гг. отмечено снижение прироста, не характерное для протекающих в этот период стадий развития. У сосны сибирской и липы мелколистной такая закономерность зафиксирована с 1941 по 1945 и с 1991 по 1995 г.

Абсолютные минимумы (пики спада) радиального прироста приходятся:

– у дуба черешчатого – на 1894, 1886, 1909, 1917, 1901, 1916, 1908, 1911, 2021 гг.;

– у сосны сибирской – на 1973, 1977, 1975, 2021, 1969 гг.;

– у липы мелколистной – на 1893, 1971, 1940, 1946, 1898, 1983 гг.;

– у лиственницы сибирской – на 1989, 1973, 1941, 1965, 1993, 1887, 1961, 1938, 1942 гг.;

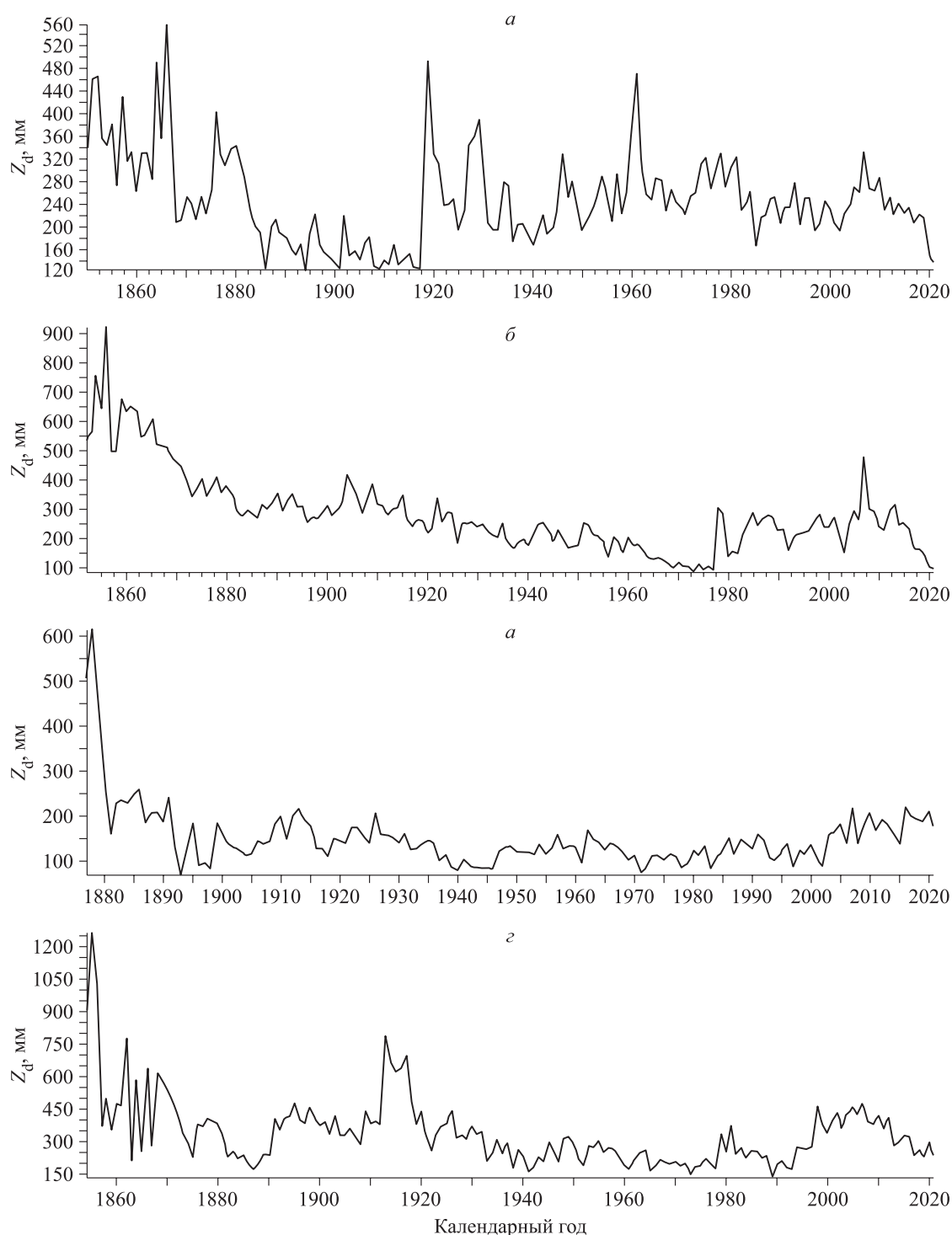
По календарным годам отмечаются минимальные значения радиальных приростов, а именно:

– для лиственницы сибирской – 1941 г.;

– для лиственницы сибирской и сосны сибирской – 1973 г.;

– для дуба черешчатого, сосны сибирской – 2021 г.

После 1992 г. в древесно-кольцевых хронологиях не выявлено высоких значений радиальных приростов, они находятся в среднем диапазоне, за исключением липы и листвен-



**Рис. 2.** Генерализованные древесно-кольцевые хронологии.

*а* – дуб черешчатый; *б* – сосна сибирская; *в* – липа мелколистная; *г* – лиственница сибирская.

ницы (2005, 2007, 2011 и 2018 гг.). Возраст растений на момент проведения исследования достигал у лиственницы 145 лет, у липы – 120, у дуба – 145 лет. Это обусловлено в первую очередь стадиями онтогенеза оцениваемых экземпляров.

Влияние температуры на радиальный прирост оценивалось в разном сочетании: это ме-

сячные, сезонные и годовые суммы температур окружающей среды, а также их сумма за вегетационные периоды (май–октябрь) предшествующего и текущего года роста деревьев. Полученные результаты, показали, что температура не вносит значимого вклада в формирование прироста. Для большинства объектов доля дисперсии не достигает 0.30.

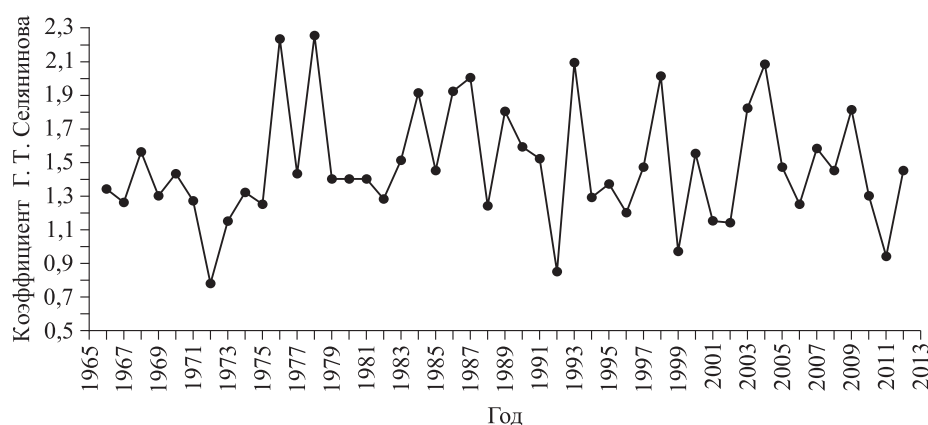


Рис. 3. Коэффициент Г. Т. Селянинова с 1965 по 2013 г.

По многолетней динамике (1965–2013 гг.) климатических переменных (осадки, температура) нами определен коэффициент Г. Т. Селянинова (рис. 3).

Значения по этому коэффициенту варьируют от 0,78 до 2,25. Оптимальные условия для роста древесных растений в условиях Вологодской области складываются при коэффициенте 0,8–1,2 (Корякина, Жаворонков, 2022).

Для среднемесячных температур и месячного количества осадков не получено достоверных коэффициентов корреляции ( $R < 0,30$ ). Достоверный коэффициент, указывающий на обратную умеренную связь, получен только с суммой осадков осенних месяцев ( $R = -0,31$ ).

Прирост деревьев в большей степени лимитируют осадки текущего гидрологического года и 2 предшествующих лет. При анализе сумм 3 гидрологических лет связь низкая и уже не влияет на прирост. Связь размера годичного кольца с количеством осадков вегетационного периода и текущего гидрологического года также низкая.

С учетом климатических переменных выделены следующие диапазоны по влажности: менее 200 мм, 200–300 мм и более 300 мм и по температуре: 1500–2000 и более 2000 °С. Согласно произведенной группировке данных по климатическим переменным, выявлены годы, максимально благоприятные для роста древесных видов-интродуцентов: 1972, 1992, 1999, 2011. Цикличность таких погодных условий составила в условиях Вологодской области за анализируемый период (с 1965 по 2013 г.) в среднем 9 лет.

Отмечаются периоды, когда не выявлено резких колебаний коэффициента Селянинова, а значит и погодных условий: 1969–1971; 1979–1981; 1994–1996; 2001–2002. При этом следует

отметить, что в некоторые календарные годы (1981, 1982) при равных значениях осадков (299 и 298 мм соответственно) и суммы положительных температур (2138 и 1864 °С) радиальный прирост у большинства древесных видов-интродуцентов превышал средние значения на 15 % и более (липа, лиственница и дуб).

Анализ реакции радиального прироста на климатические переменные показал, что при формировании благоприятных условий (коэффициент Г. Т. Селянинова от 0,9 до 1,1) реакция у древесных видов-интродуцентов следующая. Липа, дуб и лиственница реагирует в этот же год. При этом радиальный прирост увеличивается. У сосны сибирской такая закономерность проявляется и на следующий год.

В ходе комплексного анализа (лесоводственного, денрохронологического и денроклиматического) установлены следующие общие закономерности. Отмечается одинаковая реакция как на благоприятные, так и неблагоприятные погодные условия в 61 % случаев у сосны сибирской и лиственницы сибирской, которые мало требовательны к теплу; в 55 % случаях – у липы мелколистной и дуба черешчатого (средне требовательны к теплу). При этом следует отметить, что реакция у этих групп имеет свои особенности. При сумме эффективных температур за вегетационный период более 2000 °С у древесных видов-интродуцентов отмечается реакция в увеличении радиального прироста на протяжении всего оцениваемого периода. Отличительной особенностью для сосны сибирской является тот факт, что благоприятные условия для интенсивного роста создаются при уровне осадков не более 300 мм и сумме положительных температур в эти календарные годы 1800–2200 °С.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате оценки роста древесных видов-интродуцентов по стадиям развития в многолетней динамике выявлено и зафиксировано снижение темпов роста, обусловленное в первую очередь возрастными этапами их формирования. Важно отметить, что растения по-разному реагируют на резкие изменения климатических переменных и других факторов. В целом по древесно-кольцевым хронологиям установлено, что старовозрастные деревья по всем древесным видам-интродуцентам на протяжении всех стадий развития одинаково откликаются на изменения абиотических факторов, обусловленных климатическими переменными в рассматриваемых лесорастительных условиях.

По результатам комплексного анализа установлен относительный вклад различных факторов (биологические, климатические), оказывающих влияние на изменения и трансформацию экосистем по выявленным особенностям формирования годичных колец на протяжении всего периода роста и развития древесных видов-интродуцентов.

На формирование ширины годичных колец наибольшее влияние оказывают выпадающие осадки с достаточно высокой теснотой связи по отдельным месяцам осени предыдущего и зимнего периода, предыдущего и текущего годов. Радиальный прирост деревьев в большей степени лимитируют осадки текущего гидрологического года и 2 предшествующих лет.

Отмечается положительная реакция – отклик на увеличение радиального прироста при суммах положительных температур у дуба и липы более 2000 °С. В свою очередь, установлен отрицательный отклик у лиственницы сибирской и сосны сибирской при сумме эффективных температур менее 1900 °С. Для сосны сибирской при уровне осадков за вегетационный период более 300 мм и при сумме эффективных температур менее 2000 °С отмечается повышение радиального прироста. Это позволяет заключить, что не для всех древесных видов-интродуцентов недостаточное количество тепла является лимитирующим фактором, что необходимо учитывать при их лесоразведении.

Выявлено, что отсутствие своевременных системных уходов за искусственно созданными насаждениями, неудачное сочетание древесных видов, согласно имеющимся историческим сведениям и результатам выполненного анализа данных, отразилось на замедлении роста ино-

районных видов, особенно на начальных этапах развития. Отсутствие уходов приводит к тому, что снижается не только производительность насаждений на ООПТ, но и ухудшается жизненное состояние экзотов, что приводит к разрушению объектов садово-паркового искусства.

Генерализированные древесно-кольцевые хронологии по древесным видам-интродуцентам получены для региона впервые. Эти хронологии характеризуются высокой степенью синхронности при их сравнении, что позволяет заключить о наличии общих закономерностей в росте и развитии растений независимо от их территориального размещения. Все различия обусловлены только индивидуальными особенностями роста и развития каждого древесного вида.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агафонов Л. И., Гурская М. А., Кукарских В. В., Бубнов М. О., Дэви Н. М., Галимова А. А. Островные боры Южного Урала и ленточные боры Алтая как объекты дендроклиматических исследований // Экология. 2021. № 5. С. 325–334.
- Брынцев В. А. Итоги интродукции видов рода *Abies* в Главном ботаническом саду РАН // Лесохоз. информ. 2022. № 1. С. 85–93.
- Древесные растения для озеленения Новосибирска / В. Т. Бакулин, Е. В. Банаев, Т. Н. Встовская и др. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. 303 с.
- Дружинин Н. А., Дружинин Ф. Н., Корякина Д. М., Цыпилев С. В., Чухина О. В. Результаты и оценка многолетней интродукции на особо охраняемых природных территориях южно-таежного района // ИВУЗ. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 74–87.
- Дружинин Ф. Н., Макаров Ю. И., Корякина Д. М. Паспортизация как средство мониторинга ценных древесных и кустарниковых растений // ИВУЗ. Лесн. журн. 2018. № 5. С. 94–104.
- Дубенок Н. Н. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии – РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. М.: Наука, 2020. 382 с.
- Жуков Р. С., Черкашев А. В. Анализ роста культур *Pinus sibirica* Du Roi в условиях интродукции Вологодской области с помощью методов дендрохронологии // Евраз. союз ученых. 2016. № 3 (24). С. 127–132.
- Коропачинский И. Ю., Встовская Т. Н., Томошевич М. А. Очередные задачи интродукции древесных растений в Азиатской России // Сиб. экол. журн. 2011. № 2. С. 147–170.
- Коропачинский И. Ю., Лоскутов Р. И. Древесные растения для озеленения Красноярска. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2014. 320 с.
- Корякина Д. М., Жаворонков Ю. М. Оценка роста и развития интродуцентов в структуре насаждений на особо охраняемых природных территориях Вологодской области // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Сб. материалов Всерос. школы-семинара, посвящ.



- пам. Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка, Пермь, 21–22 апреля 2022 г. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2022. С. 93–96.
- Матвеев С. М., Тимацук Д. А. Дендроклиматический анализ 200-летнего древостоя сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике // Лесоведение. 2019. № 2. С. 93–104.
- Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-метод. пособ. / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов и др. Красноярск: КГУ, 2000. 80 с.
- Мерзленко М. Д. Рост хвойных интродуцентов в Западном Подмоскowie // Вестн. Алтай. гос. агр. ун-та. 2017. № 5 (151). С. 86–90.
- Мерзленко М. Д. Результаты выращивания климатипов лиственницы в географических культурах Западного Подмоскowie // Вестн. Алтай. гос. агр. ун-та. 2018. № 1 (159). С. 72–77.
- Мерзленко М. Д. Лесоводственный опыт выращивания культур лиственницы в центре Русской равнины // Лесохоз. информ. 2019. № 4. С. 55–66.
- Петров И. А., Шушпанов А. С., Голуков А. С., Двинская М. Л., Харук В. И. Динамика древесно-кустарниковой растительности в горной лесотундре Восточного Саяна // Экология. 2021. № 5. С. 372–379.
- Румянцев Д. Е. Биологические основы изменчивости годичных колец // Фундамент. иссл. 2015. № 2. С. 481–485.
- Рыгалова Н. В. Построение многовековых древесно-кольцевых хронологий *Pinus sylvestris* L. для лесостепной и степной зон юга Западной Сибири // Журн. СФУ. Сер. Биол. 2022. Т. 15. № 2. С. 202–220.
- Смолоногов Е. П. Лесообразовательный процесс и его особенности // Теория лесообразовательного процесса. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1991. С. 151–153.
- Чернов В. Ю., Цой О. В., Магалак Н. А., Чернова М. С. Устройство для дендрохронологического исследования древесины // ИВУЗ. Лесн. журн. 2019. № 5. С. 158–166.
- Хох А. Н., Кузменков Д. Е. Влияние условий произрастания сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на изменчивость радиального прироста // Экол. вестн. 2016. № 4 (38). С. 15–21.
- Agafonov L. I., Gurskaya M. A., Kukarskikh V. V., Bubnov M. O., Devi N. M., Galimova A. A. Insular pine forests of the southern Urals and ribbon pine forests of the Altai as objects of dendroclimatic research // Rus. J. Ecol. 2021. V. 52. Iss. 5. P. 349–357 (Original Rus. text © 2021, L. I. Agafonov, M. A. Gurskaya, V. V. Kukarskikh, M. O. Bubnov, N. M. Devi, A. A. Galimova, publ. in Ekologiya. 2021. N. 5. P. 325–334).
- Cherakshev A. V. Dendrochronological research on old-aged eastern white pine from the Kaluga region – a natural heritage monument // Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen. 2021. V. 63. N. 2. P. 153–161.
- Cherubini P., Gargano A., Grob M., Nievergelt D., Passardi S. Dendrochronologia's tutoring recipes: How to take samples for small basic dendroecological studies // Dendrochronologia. 2020. V. 64. Article 125774. 2 p.
- Coulthard B. L., George S. S., Meko D. M. The limits of freely-available tree-ring chronologies // Quarter. Sci. Rev. 2020. V. 234. Iss. 4. Article 106264. 10 p.
- Davis E. L., Brown R., Daniels L., Kavanagh T., Gedalof Z. Regional variability in the response of alpine treelines to climate change // Climate Change. 2020. V. 162. P. 1365–1384.
- Eckstein D., Bauch J. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit // Forstwissenschaftliches Centralblatt. 1969. V. 88. N. 1. P. 230–250.
- Holmes R. L. Dendrochronological program library [Computer program]. Lab. tree-ring Res., Univ. Arizona, Tucson, Arizona, USA, 1995.
- Huber B. Über die Sicherheit jahringschronologischer Datierung // Holz als Rohund Werkstoff. 1943. V. 6. N. 10–12. P. 263–268.
- Fritts H. C. Tree rings and climate. London: Acad. Press, 1976. 567 p.
- Koropachinskii I. Yu., Vstovskaya T. N., Tomoshevich M. A. Immediate tasks of introduction of woody plants in Asian Russia // Contemp. Probl. Ecol. 2011. V. 4. P. 107–125 (Original Rus. text © I. Yu. Koropachinskii, T. N. Vstovskaya, M. A. Tomoshevich, 2011, publ. in Sib. ekol. zhurn. 2011. V. 18. N. 2. P. 147–170).
- Lukashik E. E., Ivanov A. A., Semenov D. V. Analysis of tree-ring chronologies by digital graphical data processing method // IOP Conf. Ser.: Earth & Environ. Sci. 2021. V. 852. Article 012061. 5 p.
- Schweingruber F. H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Springer Dordrecht, 1988. 290 p.
- Petrov I. A., Shushpanov A. S., Golyukov A. S., Dvinskaya M. L., Kharuk V. I. Dynamics of tree and shrub vegetation in the Eastern Sayan mountain tundra // Rus. J. Ecol. 2021. V. 52. Iss. 5. P. 399–405 (Original Rus. text © 2021, I. A. Petrov, A. S. Shushpanov, A. S. Golyukov, M. L. Dvinskaya, V. I. Kharuk, publ. in Ekologiya. 2021. N. 5. P. 372–379).

## GROWTH FEATURES OF INTRODUCED WOODY SPECIES IN VOLOGDA OBLAST

D. M. Koryakina, N. A. Druzhinin, F. N. Druzhinin

Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin  
Pankratov str., 9a, korp. 7, Molochnoe, Vologda, 160555 Russian Federation

---

Email: koryakina.dary@yandex.ru, drujinin.n.a@yandex.ru, drujinin@mail.ru

There are very few works in the scientific literature based on the results of long-term introduction. In this regard, the data obtained on stands in protected areas (objects of landscape art), which include introduced rocks in their compositions, are important both from a theoretical and practical point of view. Plantings at the objects of landscape art, in this regard, are actually a scientific, industrial and educational base. The objects of the study were old-age trees growing on 18 sites of specially protected natural territories of Vologda Oblast. It was found that 74 % of the compared tree-ring chronologies, taking into account forest growing areas, have a lack of communication, 16 % have a low connection, 10 % have an average one. Based on the denrochronological and dendroclimatic analysis, the relative contribution of various factors, taking into account the biological characteristics of tree species, to the formation of annual rings has been established. There is a positive reaction (response by radial increment) to the sum of positive temperatures in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) at values above 2000 °C. In turn, a negative response was recorded in Siberian larch and Siberian pine at a total effective temperature of less than 1900 °C. For Siberian pine, it was found that with a precipitation level of more than 300 mm and with the sum of effective temperatures for the growing season less than 2000 °C, an increase in radial growth is noted. The performed study allowed us to conclude that not for all introduced tree species, the thermal regime in the European North is a limiting factor, which is important for the introduction of introduced tree species into the crops in the region under consideration. The lack of timely care for stands in protected areas, an unsuccessful combination of tree species and agrotechnics of the formation of these objects affected the slowdown in growth rates, especially at the initial stages of growth and development of innoregional species, the obtained tree-ring chronologies were obtained for the region for the first time, they are characterized by high synchronicity with each other when compared. These data allow us to assert the existence of connections and general patterns in the growth and development of plants, regardless of their territorial location, and all differences are related only to the individual characteristics of the growth and development of each tree species.

**Keywords:** *specially protected natural areas, natural monument, introducers, stages of growth and development, dendrochronology, dendroclimatology, tree-ring chronology, radial increment.*

**How to cite:** Koryakina D. M., Druzhinin N. A., Druzhinin F. N. Growth features of introduced woody species in Vologda Oblast // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 78–87 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630.181.43+674.816

## ОСВОЕНИЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ПОВРЕЖДЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

С. Н. Долматов, П. Г. Колесников, А. И. Пережилин

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва 660037, Красноярск, просп. имени газеты «Красноярский рабочий», 31*

E-mail: pipinaskus@mail.ru, mfsibgtu@mail.ru, alex\_pr@sibsau.ru

*Поступила в редакцию 09.04.2024 г.*

Красноярский край и Иркутская область являются ведущими регионами РФ по объему лесозаготовок. Вместе с тем валовый региональный продукт лесной отрасли региона не превышает 2.5 %. Лесные массивы Сибирского федерального округа регулярно подвергаются воздействию пожаров и насекомых-вредителей леса. При этом образуются значительные объемы поврежденной низкокачественной древесины. Переработка древесины добавляет большое количество отходов в виде опилок, горбыля, реек. Политика неконтролируемого роста объемов заготовки в хвойных древостоях в целях получения высококачественных круглых лесоматериалов привела к истощению лесосырьевых баз, росту расстояний транспортировки лесной продукции, усложнению логистики. Выходом из сложившейся негативной ситуации может стать обоснованная ориентация на глубокую переработку древесного сырья с последующим производством высоколиквидной продукции. Мировые тенденции в области комплексного использования древесного сырья позволяют определить в качестве основного вектора переработки этих ресурсов производство топливных брикетов и пеллет. Особенности рынка производства и потребления пеллет в России – исключительно экспортная ориентация, объемы внутреннего потребления не превышают 15–20 % от общего объема производства. В текущей экономической и политической ситуации Россия практически потеряла освоенные ранее рынки сбыта пеллет в Европе. Ориентация производителей на Южную Корею и Японию сталкивается с проблемами логистики и агрессивной конкуренции со стороны Вьетнама, Канады и США. В этих условиях выходом из ситуации, связанной с недостаточным вовлечением в промышленную переработку низкокачественной древесины и отходов, может стать направление переработки в расчете на обеспечение рынка строительных материалов плитами и древесно-минеральными композитами. Эта продукция представлена изделиями высокой степени передела, имеет прогнозируемые внутренний спрос и рынок сбыта.

**Ключевые слова:** *лесные ресурсы, низкокачественная поврежденная древесина, пеллеты, рынок, конкуренция, логистика и сбыт, древесные композиционные материалы, жилищное строительство, экология.*

DOI: 10.15372/SJFS20240611

### ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации сосредоточены значительные объемы лесных ресурсов – около 20 % всей площади лесов на планете, или в абсолютном исчислении – более 800 млн га (Глобальная оценка, 2015). Каждый год в России проводится лесозаготовка в объемах, превышающих 200 млн м<sup>3</sup> (в 2021 г. – 224.945 млн м<sup>3</sup>). Россия входит в 10 стран-лидеров по лесозаготовкам. Сибирский федеральный округ заготавливает более 30 % (в 2021 г. – 72.316 млн м<sup>3</sup>) (ЕМИСС, 2022) и находится на четвертом месте по произ-

водству пиломатериалов в мире, уступая США, Канаде и Китаю. Производство пиломатериалов в 2019 г. составило 44.7 млн м<sup>3</sup>.

Красноярский край и Иркутская область – лидеры России по объему лесозаготовки (в 2021 г. – 24.7 и 32.7 млн м<sup>3</sup> соответственно), занимают ведущую позиций в российском лесном секторе и имеют достаточно развитую лесную промышленность. При этом им принадлежит 24 % от общей лесопокрытой площади всей России (190 млн из 809 млн га). Вместе с тем вклад лесного комплекса в экономику, например Красноярского края (валовый региональный продукт

(ВРП)) ничтожно мал и не превышает 2.5 %, что совершенно не соответствует потенциально возможному использованию лесных массивов. Для сравнения, обрабатывающая промышленность – это 33.8 % ВРП Красноярского края, добыча полезных ископаемых – 18.1 % ВРП.

Сибирский федеральный округ (СФО) занимает второе место по площади лесов в РФ. Общая площадь государственного лесного фонда СФО равна 298.8 млн га, при этом площадь, покрытая лесами, – 219.1 млн га, общий запас насаждений на землях лесного фонда составляет 27451 млн м<sup>3</sup>, из них хвойных – 21276 млн м<sup>3</sup>, мягколиственных – 6011 млн м<sup>3</sup>. Запас спелых и перестойных насаждений на землях лесного фонда составляет 16565 млн м<sup>3</sup> (60 % общего запаса лесов округа) (Глобальная оценка..., 2015; Стратегия..., 2020). Эксплуатационные леса занимают 47.5 % площади лесного фонда (142.04 млн га), резервные – 23.2 % площади земель лесного фонда (69.1 млн га). На СФО приходится 38 % расчетной лесосеки России. Регион обладает развитой лесной промышленностью и лидирует по объемам лесозаготовки, производству пиломатериалов, товарной целлюлозы и продукции лесохимии.

Важный показатель любого лесного региона – использование расчетной лесосеки. Наиболее полно она осваивается в Иркутской области – на 48 %. Для Красноярского края этот показатель ниже – 28 %. Основная причина недостаточного использования расчетной лесосеки – транспортная недоступность лесов ввиду низкой плотности лесных дорог, а также ориентация исключительно на экстенсивные технологии освоения лесов, с задачей заготовки преимущественно стволовой древесины высокой товарности.

Плотность лесных дорог в Российской Федерации и Красноярском крае составляет в среднем 1.46 и 1.2 км/тыс. га лесной площади соответственно, что в несколько раз меньше, чем показатели ведущих стран (от 10 до 45 км), в которых лесозаготовительная и лесоперерабатывающая промышленность является весомой частью экономики (Долматов, Макунина, 2023). Долгие годы развитие технологии лесозаготовки и лесопереработки шло по пути экстенсивного увеличения темпов освоения лесосырьевых баз со сплошной вырубкой значительных площадей лесных земель и объемов древесины. При этом недостаточное влияние уделялось вопросам комплексной переработки всей биомассы древесины. Это привело к тому, что в погоне за высоколиквидной стволовой древесиной лесозагото-

вительные участки удалились на 300 км и более от мест переработки и отгрузки на магистральный транспорт. При таком увеличении плеча вывозки за полвека интенсивной эксплуатации лесных массивов затраты на транспорт возросли в 3 раза и более (Шишелов, Носков, 2018). С начала 2000-х годов произошли коренные изменения в области технологий комплексной переработки древесного сырья, появились и получили развитие биотопливная промышленность, плантационное ведение лесного хозяйства (Кривокоченко, 2021; Кархова, 2022). В 2000-е годы в РФ было заготовлено еще сотни миллионов кубометров древесины. Однако при этом качество лесного фонда стало еще хуже, многократно возросло число лесных пожаров и их площадь, увеличилось количество расстроенных лесов. Одной из причин этих нежелательных тенденций является ориентация лесопользователей на получение исключительно стволовой древесины. При этом вопросам переработки низкокачественной древесины и древесных отходов уделяется совершенно недостаточное внимание. Производство плит, пеллет, древесных композитов – перспективное направление лесоперерабатывающей промышленности.

Цель исследования – обоснование перспектив освоения низкокачественной, поврежденной древесины и древесных отходов в условиях ограничений логистики, сбыта и санкционного давления.

В задачи настоящего исследования входило:

- определение видов и объемов сырьевых ресурсов низкокачественной, поврежденной древесины и отходов, подлежащих освоению;
- обоснование перспектив производства и реализации пеллет в современных экономических условиях;
- определение видов продукции, имеющей перспективы на рынке, и доступного сырьевого и технологического обеспечения в условиях ограничения логистики и сбыта.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования стали перспективные направления и технологии утилизации низкокачественной древесины и древесных отходов путем их вовлечения в производственный оборот с целью выпуска продукции с высокой добавочной стоимостью. В работе использованы данные о запасах леса, лесопокрытых площадях, объемах лесозаготовки отдельных субъектов и государств, данные федеральных и муниципаль-



ных систем контроля и мониторинга оборота лесной продукции (ЕМИСС, 2022; FAOSTAT, 2024), а также источники, расположенные в свободном доступе, в качестве методов исследования – анализ данных, метод аналогий, обобщения, систематизации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Территория Сибири огромна, Сибирский федеральный округ занимает территорию площадью 4 361.7 тыс. км<sup>2</sup> (25.47 % от территории РФ). Население на 2022 г. составляет 16 882.8 тыс. чел. (11.62 % от численности населения РФ). Эта территория имеет достаточно слаборазвитую дорожную сеть, что существенно осложняет маневрирование ресурсами, сырьем, полуфабрикатами и технологиями. Наличие крупных лесоперерабатывающих производств химической и химико-механической переработки в Иркутской области (Братск, Усть-Илимск) позволяет весьма эффективно переработать низкокачественную древесину в виде технологического сырья и получить конечную продукцию высокой степени передела (целлюлоза, картон, термомеханическая масса и т. п.) В других субъектах СФО таких предприятий нет (Енисейский ЦБК в г. Красноярске ликвидирован в 2010 г.). На текущий момент организовать эффективную химико-механическую переработку запасов низкокачественной древесины Красноярского края не представляется возможным. Опыт поставок сырья на предприятия целлюлозно-бумажной и целлюлозно-картонной промышленности Иркутской области не всегда удачен и имеет низкую рентабельность из-за значительных расстояний. Например, лесопильное предприятие ООО «Красноярский центр строительства», расположенное в пос. Чемдальск, поставляет технологическую щепу автотранспортом по зимнику в Усть-Илимск, расстояние доставки 250 км. Очевидно, что при таких расстояниях доставки технологическая щепка становится нерентабельной. ООО «Красноярский центр строительства» – это современное лесоперерабатывающее предприятие с объемом готовой пилопродукции до 400 тыс. м<sup>3</sup> в год. При таком выходе готовой продукции объем заготовки составляет не менее 1 млн м<sup>3</sup>. Соответственно появляются вторичные ресурсы и отходы.

Объем таких ресурсов значителен. Выход низкокачественной древесины при лесозаготовке в хвойных насаждениях достигает 14–38 %, а для насаждений березы (*Betula* L.) и осины

(*Populus tremula* L.) – до 78 %. Часть низкокачественной древесины лесозаготовители реализуют населению в виде дров, а также используют на удовлетворение собственных нужд. При отсутствии централизованного теплового снабжения населенных пунктов (а таких лесозаготовительных поселков большинство) на собственные нужды требуется не более 5–10 % низкокачественной древесины от общего объема лесозаготовок. Однако с увеличением расстояния вывозки до 150 км и более перевозить такую древесину считается нерентабельно. В результате жители поселков, где основное градообразующее предприятие – это предприятие по лесозаготовке и лесопереработке, испытывают острую нужду в топливных дровах, а на лесосеках создаются пожароопасные залежи низкокачественной древесины (особенно мягколиственных пород).

Помимо низкокачественной древесины, сосредоточенной непосредственно на лесосеках, в пунктах погрузки и на нижних складах, важным компонентом, потенциально пригодным для вовлечения в переработку, являются отходы лесоперерабатывающих производств, в частности лесопиления. Основную массу кусковых отходов лесопиления составляют горбыль и рейки. Количество кусковых отходов лесопиления зависит от размера сырья, оборудования и технологии распиловки. Количество получаемых отходов при распиловке хвойного пиловочника диаметром 20–28 см достигает 35 %. В настоящее время в связи с ориентацией на потребности и запросы рынка существует тенденция сокращения выхода пиломатериалов за счет повышения их качества. В этом случае ресурсы кусковых отходов лесопиления увеличатся еще дополнительно на 6–8 %.

В ЛПК России ежегодно формируется 68–74 млн м<sup>3</sup> древесных отходов и вторичного сырья, а используется и перерабатывается не более 48–58, т. е. около 30–36 млн м<sup>3</sup> отходов и вторичного сырья не приносят доход, на их утилизацию тратятся силы и средства, само их наличие ухудшает ситуацию, связанную с пожарной опасностью, а также отмечается негативное воздействие на экологическую обстановку. Красноярский край обладает существенными объемами невостребованных древесных ресурсов в виде отходов производства, малоценных пород древесины и древесины, поврежденной вредителями. В 2018 г. объем древесных отходов на территории Красноярского края составил более 4.3 млн м<sup>3</sup>, объем перерабатываемых отходов от лесопереработки – 1.6 млн м<sup>3</sup>, что не более 37 % от общего объема, остальные 63 % (или

2.7 млн м<sup>3</sup>) никак не используются (ЕМИСС, 2022).

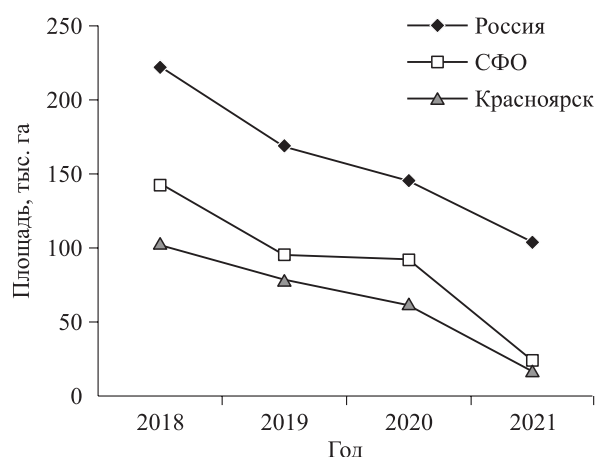
Имеется ряд факторов негативного влияния неиспользования древесных ресурсов в виде низкокачественной древесины и отходов.

1. Риск возникновения и распространения пожаров. При некачественной очистке лесосек, на территории деляны остается большое количество отходов. Эти материалы интенсивно теряют свою влажность, в особенности под воздействием прямых солнечных лучей, вследствие чего деляна начинает представлять собой склад легко воспламеняемого топлива.

2. Формирование кормовой базы для насекомых-вредителей. Древесина – это органический продукт, служащий пищей и средой обитания насекомых-вредителей и грибов, которые в ходе своей жизнедеятельности повреждают ее, и она становится не пригодной для дальнейшей обработки путем лесопиления. Древесные отходы и низкокачественная древесина, оставленные на лесосеке, являются источником пожарной опасности, препятствуют росту и развитию подроста, ухудшают прогноз на успешное лесовосстановление.

К потенциальным ресурсам древесины, пригодной для переработки, следует отнести пройденные пожаром и погибшие насаждения. К общей площади погибших лесных насаждений относится площадь лесных насаждений всех лесобразующих пород, которые погибли при воздействии на них вредителей, животных, при пожарах, от действия негативных погодно-климатических факторов, воздействия человека, выбросов, т. е. все те насаждения, которые по своему состоянию попадают в категорию санитарной рубки.

На рис. 1 показана площадь погибших лесных насаждений на территории РФ, СФО, Красноярского края



**Рис. 1.** Площадь погибших лесных насаждений на территории РФ, СФО, Красноярского края (ЕМИСС, 2022).

Красноярского края по данным Федеральной службы государственной статистики с 2018 по 2021 г. (ЕМИСС, 2022).

Масштабы убыли лесного фонда весьма значительны. В табл. 1 отражены причины и масштабы нарушений (на примере Приангарского макрорайона Красноярского края) в 2018 г.

Вспышки массового размножения насекомых и лесные пожары относятся к наиболее существенным факторам повреждений на площади 1.08 млн и 270 тыс. га соответственно. Однако в 2019–2021 гг. в Красноярском крае лесными пожарами была пройдена еще большая площадь.

В работе Е. А. Хартанович и Т. В. Зеленской (2020) были определены объемы отходов лесозаготовительного производства. По итогам расчетов суммарный объем древесной массы отходов составил 5292.59 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по Приангарскому макрорайону – 3497.48 тыс. м<sup>3</sup>, по Северному – 483.41 тыс. м<sup>3</sup>, по Центральному – 251.08 тыс. м<sup>3</sup>, по Южному – 226.74 тыс. м<sup>3</sup>,

**Таблица 1.** Площади (га) погибших насаждений в Приангарском макрорайоне Красноярского края (Лескинен и др., 2020)

| Муниципальный район | Причины ослабления (гибели) |              |               |                      |                     |                                                   | Всего     |
|---------------------|-----------------------------|--------------|---------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------------------|-----------|
|                     | антропогенные факторы       | болезни леса | лесные пожары | непатогенные факторы | насекомые-вредители | неблагоприятная погода, переувлажнение или засуха |           |
| Богучанский         | 3090                        | 10 562       | 111 646       | 594                  | 28 585              | 22 785                                            | 177 262   |
| Енисейский          | 354                         | 2541         | 27 118        | –                    | 843 073             | 773                                               | 873 859   |
| Казачинский         | –                           | –            | 78            | –                    | 7681                | –                                                 | 7759      |
| Кежемский           | 9930                        | 2610         | 53 243        | –                    | 8249                | 425                                               | 74 457    |
| Мотыгинский         | 20                          | 4321         | 36 421        | –                    | 16 254              | 429                                               | 57 445    |
| Северо-Енисейский   | –                           | 1400         | 41 667        | –                    | 178 357             | 8249                                              | 229 673   |
| Итого ...           | 13 394                      | 21 434       | 270 173       | 594                  | 1 082 199           | 32 661                                            | 1 420 455 |

по Западному макрорайону – 257.28 тыс. м<sup>3</sup> и по Восточному макрорайону – 576.6 тыс. м<sup>3</sup>.

Объем пиломатериалов, произведенных в 2019 г. предприятиями Красноярского края, составил 4726.0 тыс. м<sup>3</sup>. При этом объем отходов, образовавшихся в лесопильном производстве, достигал 5581.7 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе кусковых отходов – 3568.68 тыс. м<sup>3</sup>, опилок – 2013.02 тыс. м<sup>3</sup>.

На сегодняшний день актуальной проблемой лесов СФО, в частности Красноярского края, является ослабление и гибель лесов вследствие не только лесных пожаров, но и повреждения насекомыми-вредителями. По данным Управления Россельхознадзора по Красноярскому краю, уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus* Blandford) и сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov) представляют собой карантинные объекты, распространенные на территории края и вызывающие наибольшие опасения (Специалистами..., 2016; Красноярский филиал..., 2024).

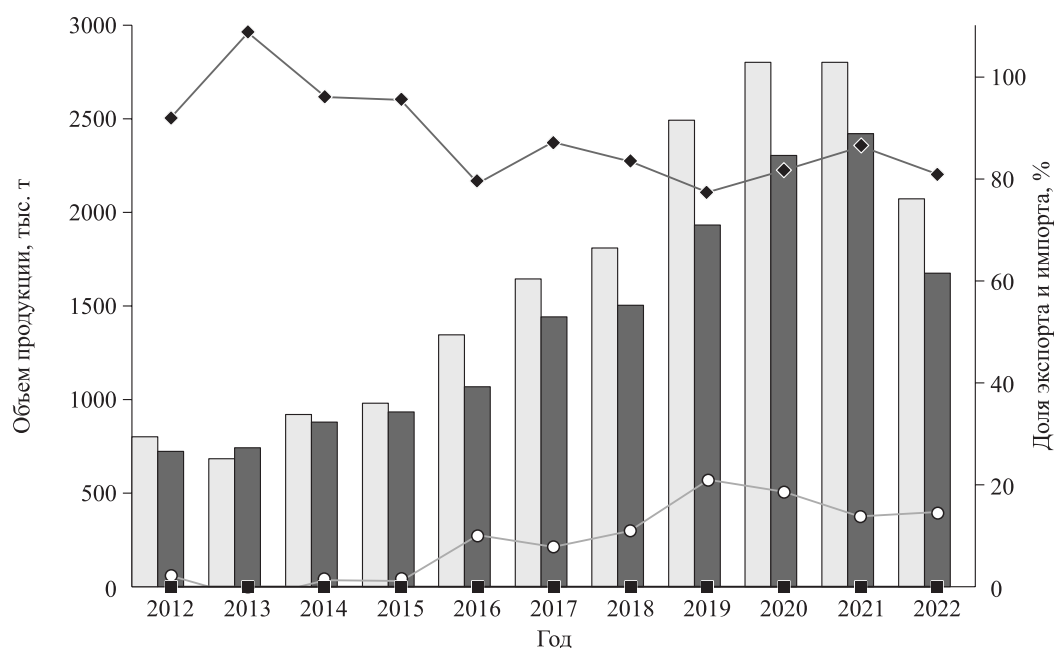
Своевременный мониторинг, в том числе на основе современных средств дистанционного зондирования и контроля, позволяет установить степень повреждения древостоев опасными лесными вредителями. К примеру, по результатам контрольно-надзорных мероприятий, в 2018 г. Управлением Россельхознадзора установлено 17 карантинных фитосанитарных зон по уссурийскому полиграфу на площади 57.56 тыс. га, в 2019 г. – 24 на площади 78.68 тыс. га. На сегодняшний день общая площадь установленных карантинных фитосанитарных зон по уссурийскому полиграфу составляет 606.71 тыс. га (это 44 зоны на территории 14 районов края), площадь очагов достигает 164.08 тыс. га. Единственный способ борьбы с распространением полиграфа – вырубка свежеселенных, погибших и поврежденных деревьев (Баранчиков и др., 2011; Пряничникова, Звягинцев, 2021; Юртаева, Алашкевич, 2022). Применение химических и биологических мер малоэффективно. Другой опасный карантинный вредитель в Красноярском крае – сибирский шелкопряд, наносимый им вред сравним с лесными пожарами и приводит к полной гибели хвойных лесов на месте вспышки. Древостои, погибшие во время вспышки массового размножения сибирского шелкопряда, крайне пожароопасны, а также служат рассадниками стволовых вредителей, в том числе и карантинных, таких как род черные усачи (*Monochamus* (Megerle in Dejean)). В 2016 г. на территории Енисейского района была зафиксирована вспышка массового размножения

сибирского шелкопряда. Площадь очагов составляла 21 тыс. га, к концу 2016 г. она увеличилась до 935 тыс. га. В 2019 г. отмечены новые вспышки очагов сибирского шелкопряда в Ирбейском и Саянском районах края на площади более 120 тыс. га. Важным и широко распространенным вредителем в лесах Красноярского края по степени воздействия на древостой является усач черный еловый большой (*Monochamus sartor* (Fabricius)), площадь поврежденных им насаждений составляет 87.2 тыс. га.

Таким образом, обозначены объемы невостребованной древесины, а именно: лесосечных отходов, отходов от деревообработки, древесины, пораженной пожарами и насекомыми, следовательно такие ресурсы, а объем их весьма значителен, при вовлечении их в производство позволят получить дополнительные доходы. По информации Минлесхоза Красноярского края, всего до 40 % обозначенного объема ресурсов в виде низкокачественной древесины и отходов лесопиления направляется в последующую переработку. Что касается остальных 60 %, то это практически невостребованные ресурсы.

Определенная работа в области утилизации и промышленной переработки низкокачественной древесины и древесных отходов, конечно, проводится. Из отходов деревообработки и малоценной древесины предприятиями лесного комплекса Красноярского края в 2018 г. произведены следующие виды продукции: древесноволокнистые плиты – 34.75 млн м<sup>2</sup> (в том числе АО «Лесосибирский ЛДК № 1» – 25.2 млн м<sup>2</sup>, ЗАО «Новоенисейский ЛХК» – 9.55 млн м<sup>2</sup>); пеллеты и топливные брикеты – 164.9 тыс. т (в том числе ООО «ДОК «Енисей» – 66.8 тыс. т, ЗАО «Новоенисейский ЛХК» – 45.9 тыс. т, ООО «Сиблес Проект» – 22.0 тыс. т, ООО «Лес-Сервис» – 6.3 тыс. т, ООО «Ксилотек-Сибирь» – 5.8 тыс. т, ООО «КРАСФАН» – 0.34 тыс. т) (Стратегия..., 2020).

Характерной чертой технологий утилизации низкокачественной древесины и отходов является предварительное измельчение исходного сырья, имеющего разнообразные массу, размеры и плотность в сравнительно однородную технологическую щепу. Из этой щепы возможен выпуск широкой номенклатуры композиционных материалов, термопластов или химическая переработка на целлюлозу. Сырьевые ресурсы для производства измельченного древесного сырья применительно к лесозаготовительным предприятиям формируются из низкокачественных кряжей, вырезок, оторцовок и откомлевок, сучьев, вершин, поступающих на нижний склад



|                                |       |        |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Производство, тыс. т           | 791   | 683    | 913   | 974   | 1345   | 1650   | 1810   | 2500   | 2800   | 2800   | 2073   |
| Экспорт, тыс. т                | 729   | 744    | 879   | 935   | 1073   | 1439   | 1511   | 1933   | 2294   | 2425   | 1677   |
| Импорт, тыс. т                 | 1.11  | 1.46   | 1.34  | 2.17  | 2.80   | 4.88   | 2.09   | 2.09   | 2.09   | 2.09   | 2.09   |
| Внутреннее потребление, тыс. т | 63.11 | -59.54 | 35.34 | 41.17 | 274.80 | 215.88 | 301.09 | 569.09 | 508.09 | 377.09 | 398.09 |
| Доля экспорта, %               | 92.03 | 108.70 | 96.13 | 95.78 | 79.61  | 86.95  | 83.38  | 77.26  | 81.87  | 86.54  | 80.82  |
| Доля импорта, %                | 0.14  | 0.21   | 0.15  | 0.22  | 0.21   | 0.29   | 0.12   | 0.08   | 0.07   | 0.07   | 0.10   |

Рис. 2. Объем производства, экспорта, импорта и внутреннего потребления пеллет (Россия) (FAOSTAT, 2024).

при вывозке лесоматериалов с лесосек. Каждая из названных групп ресурсов, подпадающих под определение низкокачественная древесина, имеет нормативные показатели процентного выхода при реализации заготовки и переработки лесных ресурсов различного качества, способов обработки и множества других факторов. Наиболее значимы ресурсы низкокачественной древесины и отходы деревообработки. Традиционное значение низкокачественной древесины как топливных дров с развитием и широким внедрением более эффективных видов топлива, таких как газ, уголь, нефть, в настоящее время практически малозначимо. Топливные дрова утратили свое первоначальное значение как энергетическое сырье, следовательно, могут и должны вовлекаться в промышленную переработку с получением измельченного древесного сырья, имеющего широкий круг применения.

Весьма показательна история зарождения, роста объемов производства и распространения технологии производства топливных гранул – пеллет. Рост цен на традиционные углеводородные энергетические ресурсы, повышенное внимание к экологической ситуации на планете сформировало устойчивый тренд перехода

на технологии зеленой экономики, принципы устойчивого развития и использования биовозобновляемых ресурсов. Одной из причин такого перехода послужил фактор ужесточающейся конкурентной борьбы мировых корпораций, отдельных стран и макрорегионов, когда вопросы экономической целесообразности приносятся в жертву политической или военной конъюнктуры, интересов военных блоков, стран и корпораций. Доминирование России как ведущего поставщика нефти и газа на рынки Европы было разрушено в 2022 г. Крайне нестабильно выглядит ситуация на традиционных маршрутах доставки по морю из-за наличия пиратства, военных конфликтов.

Российские производители, хоть и с некоторым опозданием, но в целом уловили мировой тренд перехода на биовозобновляемые энергетические ресурсы в виде пеллет. За 10 лет объемы производства пеллет выросли с 791 тыс. до 2800 тыс. т, или в 3.5 раза (FAOSTAT, 2024) (рис. 2).

В табл. 2 показана динамика производства, экспорта, импорта и внутреннего потребления ведущими странами потребителями и производителями пеллет (FAOSTAT, 2024).



**Таблица 2.** Динамика производства, экспорта, импорта и внутреннего потребления пеллет (FAOSTAT, 2024)

| Показатель                     | Год    |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
|                                | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021  | 2022   |
| Германия                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |
| Производство, тыс. т           | 2246   | 2208   | 2078   | 1998   | 1932   | 2250   | 2415   | 2821   | 3100   | 3353  | 3569   |
| Экспорт, тыс. т                | 849    | 720    | 683    | 688    | 365    | 489    | 641    | 771    | 811    | 817   | 683    |
| Импорт, тыс. т                 | 347    | 547    | 419    | 445    | 443    | 431    | 375    | 316    | 302    | 404   | 477    |
| Внутреннее потребление, тыс. т | 1744   | 2035   | 1814   | 1755   | 2010   | 2192   | 2149   | 2366   | 2591   | 2940  | 3363   |
| Доля экспорта, %               | 32.74  | 26.13  | 27.35  | 28.16  | 15.37  | 18.24  | 22.97  | 24.58  | 23.84  | 21.75 | 16.88  |
| Доля импорта, %                | 13.38  | 19.85  | 16.78  | 18.22  | 18.65  | 16.08  | 13.44  | 10.07  | 8.88   | 10.75 | 11.79  |
| США                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |
| Производство, тыс. т           | 3474   | 4704   | 5947   | 6517   | 6393   | 6900   | 7468   | 8593   | 8412   | 8449  | 9544   |
| Экспорт, тыс. т                | 1898   | 2883   | 4005   | 4669   | 4709   | 5203   | 6017   | 6858   | 7257   | 7522  | 8977   |
| Импорт, тыс. т                 | 86     | 152    | 219    | 207    | 205    | 212    | 221    | 212    | 205    | 196   | 194    |
| Внутреннее потребление, тыс. т | 1662   | 1973   | 2161   | 2055   | 1889   | 1909   | 1672   | 1947   | 1360   | 1123  | 761    |
| Доля экспорта, %               | 53.31  | 59.37  | 64.95  | 69.44  | 71.37  | 73.16  | 78.25  | 77.89  | 84.22  | 87.01 | 92.19  |
| Доля импорта, %                | 2.42   | 3.13   | 3.55   | 3.08   | 3.11   | 2.98   | 2.87   | 2.41   | 2.38   | 2.27  | 1.99   |
| Канада                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |
| Производство, тыс. т           | 1500   | 1800   | 1900   | 2100   | 2888   | 2905   | 3048   | 3200   | 3830   | 3830  | 3830   |
| Экспорт, тыс. т                | 1369   | 1640   | 1637   | 1627   | 2373   | 2176   | 2651   | 2634   | 2900   | 3153  | 3493   |
| Импорт, тыс. т                 | 45     | 22.6   | 30.1   | 29.9   | 20.2   | 19.6   | 19.9   | 27.2   | 28.5   | 29.2  | 30.7   |
| Внутреннее потребление, тыс. т | 176    | 182.6  | 293.1  | 502.9  | 535.2  | 748.6  | 416.9  | 593.2  | 958.5  | 706.2 | 367.7  |
| Доля экспорта, %               | 88.61  | 89.98  | 84.81  | 76.39  | 81.6   | 74.4   | 86.41  | 81.62  | 75.16  | 81.7  | 90.48  |
| Доля импорта, %                | 2.91   | 1.24   | 1.56   | 1.4    | 0.69   | 0.67   | 0.65   | 0.84   | 0.74   | 0.76  | 0.8    |
| Вьетнам                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |
| Производство, тыс. т           | 50     | 170    | 800    | 1000   | 1350   | 1647   | 3050   | 3100   | 3200   | 3500  | 4650   |
| Экспорт, тыс. т                | 34     | 160    | 779    | 974    | 1354   | 1579   | 3022   | 3077   | 3200   | 3500  | 4629   |
| Импорт, тыс. т                 | 0.03   | 0.04   | 5.2    | 1.05   | 6.18   | 9.26   | 0.2    | 0.86   | 1.1    | 1.1   | 1.69   |
| Внутреннее потребление, тыс. т | 16     | 10     | 26.2   | 27.05  | 2.18   | 77.26  | 28.2   | 23.86  | 1.1    | 1.1   | 22.69  |
| Доля экспорта, %               | 67.9   | 94     | 96.8   | 97.3   | 99.8   | 95.34  | 99.1   | 99.23  | 100    | 100   | 99.5   |
| Доля импорта, %                | 0.06   | 0.02   | 0.65   | 0.1    | 0.46   | 0.56   | 0.01   | 0.03   | 0.03   | 0.03  | 0.04   |
| Южная Корея                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |
| Производство, тыс. т           | 15     | 15     | 50     | 120    | 120    | 120    | 68     | 188    | 243    | 331   | 658    |
| Экспорт, тыс. т                | 0.02   | 0.01   | 0.002  | 1.5    | 0.1    | 0.004  | 2.62   | 0.07   | 0.07   | 0.07  | 0.035  |
| Импорт, тыс. т                 | 122    | 484    | 1850   | 1470   | 1717   | 2431   | 3445   | 3002   | 3004   | 3356  | 3917   |
| Внутреннее потребление, тыс. т | 136.98 | 499    | 1900   | 1588.5 | 1836.9 | 2551   | 3510   | 3189   | 3246.9 | 3687  | 4574.9 |
| Доля экспорта, %               | 0.015  | 0.002  | 0.001  | 0.09   | 0.005  | 0.001  | 0.08   | 0.002  | 0.002  | 0.002 | 0.001  |
| Доля импорта, %                | 89     | 97     | 97     | 92     | 93     | 95     | 98     | 94     | 93     | 91    | 86     |
| Япония                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |
| Производство, тыс. т           | 78     | 90     | 126    | 126    | 126    | 127    | 131    | 147    | 149    | 156   | 156    |
| Экспорт, тыс. т                | 3460   | 4830   | 4190   | 0.46   | 0.27   | 0.24   | 0.31   | 0.21   | 0.95   | 1.7   | 2.2    |
| Импорт, тыс. т                 | 72     | 84     | 97     | 232    | 347    | 506    | 1060   | 1614   | 2028   | 3118  | 4407   |
| Внутреннее потребление, тыс. т | 146.54 | 169.17 | 218.81 | 357.54 | 472.73 | 632.76 | 1190.7 | 1760.8 | 2176   | 3272  | 4561   |
| Доля экспорта, %               | 2.31   | 2.78   | 1.88   | 0.13   | 0.06   | 0.04   | 0.03   | 0.01   | 0.04   | 0.05  | 0.05   |
| Доля импорта, %                | 48     | 48.28  | 43.5   | 64.8   | 73.36  | 79.94  | 89     | 91.65  | 93.16  | 95.24 | 97     |

Анализ данных табл. 2 позволяет сделать следующие выводы:

1. Страны можно условно разделить на три группы: производители и экспортеры пеллет (США, Канада, Вьетнам, Россия); исключительно импортеры пеллет (Япония, Южная Корея); экспортеры, и импортирует пеллеты в за-

висимости от конъюнктуры рынка, сложившейся экономической ситуации, курса национальной валюты.

2. Отмечается стремительный и устойчивый рост производства и потребления пеллет.

3. Основные потребители пеллет – это промышленно развитые, платежеспособные страны.

4. Объемы производства и экспорта пеллет в значительной степени зависят от курса национальных валют. Макроэкономическая ситуация на рынке позволила обеспечить рост производства и экспорта пеллет такими странами, как Россия и Вьетнам. Высокая маржинальность производства пеллет была обусловлена в том числе низким курсом их национальных валют при росте мировой цены в евро или долларах.

5. В России чрезвычайно низкий уровень внутреннего потребления пеллет. Это весьма нелогично, поскольку Россия – холодная страна с продолжительной зимой.

Согласно данным ООО «Национальное лесное агентство развития и инвестиций» (Кархова, 2023) за 2021 г., из России пеллеты в основном продаются в следующие страны: Дания (39 %), Бельгия (14 %), Южная Корея (7 %), Великобритания (6 %), Италия (6 %), Япония (5 %), Нидерланды (4 %), Финляндия (4 %), Франция (4 %), т. е. по направлениям экспортных поставок доля европейского рынка составляет 88 %, а доля азиатского рынка – 12 % (Кархова, 2023)

Для условий поставки пеллет, производимых в СФО на рынки Европы, характерны значительные (до 6000 км и более) расстояния и несколько перевалок груза по пути следования. Резкий рост экспортных поставок пеллет СФО в 2017–2021 гг. обусловлен тем, что их транспортировка на экспорт стала поддерживаться правительством, которое компенсировало существенную часть затрат на перевозку. Но конкурировать с основными странами-производителями пеллет (США, Канада, Вьетнам) сложно, поскольку они имеют устойчивую логистику на основе морских судовых перевозок. Объем потребления пеллет в Европе в 2021 г. превысил 30 млн т (Биотопливный конгресс..., 2022). Высокий спрос на пеллеты в ЕС объясняется сложившейся экономической целесообразностью замены ископаемых видов топлива. Стоимость отопления при использовании пеллет составляет 5.23 евроцента за 1 кВт·ч, тогда как при использовании газа и нефтепродуктов – 6.3 евроцента. Центральное отопление еще дороже (около 9 евроцентов за 1 кВт·ч) (Передерий, 2020).

Общий энтузиазм производителей и значительные объемы инвестиций в производство пеллет столкнулись в 2022 г. с неожиданными и весьма серьезными проблемами, к которым относятся затруднения логистики и сбыта пеллет на традиционных рынках сбыта в Евросоюзе. Некоторые производители и поставщики пеллет

оптимистично заявили, что можно оперативно переориентироваться на рынок Азии, прежде всего Южной Кореи и Японии. Действительно, суммарное потребление пеллет в этих странах в 2022 г. составило более 9 млн т, что практически в 4.5 раза больше, чем общий объем производства пеллет в России (табл. 2). Однако не стоит забывать о других странах-производителях и тех логистических предпочтениях, которые они имеют. Например, Вьетнам, используя дешевую рабочую силу и ресурсы быстрорастущей древесины тропиков, увеличил производство пеллет в 2022 г. до 4.65 млн т. Причем логистика пеллет из Вьетнама при перевозке морем отличается низкими затратами и высокой скоростью доставки. По данным Wood Resources International (2024), доля поставщиков пеллет из Азии на рынок Японии и Кореи выросла в 2022 г. до 32 % по сравнению с 18 % в 2018 г. В настоящее время основной поставщик пеллет в Японию – Вьетнам, за ним следуют Канада и США. Отмечается, что Япония резко увеличивает объемы контрактов на поставки из США. Экспортный потенциал США в плане производства пеллет колоссален – более 9 млн т в год, плюс морская логистика. Пеллеты из России, произведенные в СФО, сначала несколько тысяч километров следуют по железной дороге, а затем попадают в невероятно перегруженный порт отправки – Владивосток и только после этого могут быть доставлены в Японию и Корею.

В связи с массовым отказом стран ЕС покупать пеллеты в России, в ближайшее время будет формироваться ситуация затоваривания складов и избыток предложения пеллет на внутреннем рынке РФ, который находится по существу в зачаточном состоянии, объем потребления топливных гранул не превышает 15–20 % объема их производства. По данным агентства WhatWood, в 2021 г. Центральный федеральный округ потребил 420 тыс. т пеллет, Северо-Западный – 240 тыс. т, Приволжский – 120 тыс. т, остальные регионы суммарно – всего лишь 60 тыс. т. Основные потребители пеллет – частные домовладения с котлами малой мощности. Таким образом, суммарное годовое потребление внутри РФ по самым благоприятным прогнозам не превышает 600–800 тыс. т при имеющихся мощностях производства около 3 млн т. Низкий платежеспособный спрос на внутреннем рынке, на наш взгляд, обусловлен в целом невысоким уровнем доходов населения и высокой ценой пеллет. По данным «Центра системных решений» (Производители..., 2022), средняя цена

пеллет при реализации на экспорт составила \$ 103 за тонну, на внутреннем рынке внутри страны – \$ 61.3, т. е. разница – более 40 %.

Для получения 1 т пеллет требуется не менее 2.3 т древесного сырья, как правило, это отходы. По нашим расчетам, потенциально выработка и реализация 3 млн т пеллет ежегодно задействует не менее 6.6 млн т низкокачественной древесины и отходов. Естественно, при кризисе экспорта пеллет и недоразвитом внутреннем рынке эти объемы не задействуют, а будут занимать свалки, полигоны, территории неочищенных лесосек, гореть, гнить и служить источником пищи вредителям леса. Следовательно, пеллетное производство не в состоянии обеспечить переработку низкокачественных древесных ресурсов и отходов, по крайней мере в текущей ситуации. Более того, согласно исследованию С. А. Кархова (2023), в случае продолжения западных санкций на экспорт древесной продукции из России, можно ожидать приостановки, а затем и ликвидации пеллетных производств. Банкротами в первую очередь станут малые предприятия.

Применительно к условиям Красноярского края широкое распространение пеллет в качестве топлива индивидуальных хозяйств и ТЭЦ ограничено сравнительно небольшой емкостью рынка потребления. В настоящее время тепловая и энергетическая генерации осуществляются путем сжигания бурых углей, месторождения которых в Красноярском крае значительны. В последнее время набирает обороты риторика о скорой газификации Красноярского края. В октябре 2023 г. президент России Владимир Путин поручил до 2028 г. обеспечить газификацию города. Вице-премьер РФ А. Новак заявлял ранее, что «Газпром» начал работы по магистральному газопроводу из Томской области в Красноярский край, потребители Красноярска могут получить газ к 400-летию юбилею города (Газпром, 2023).

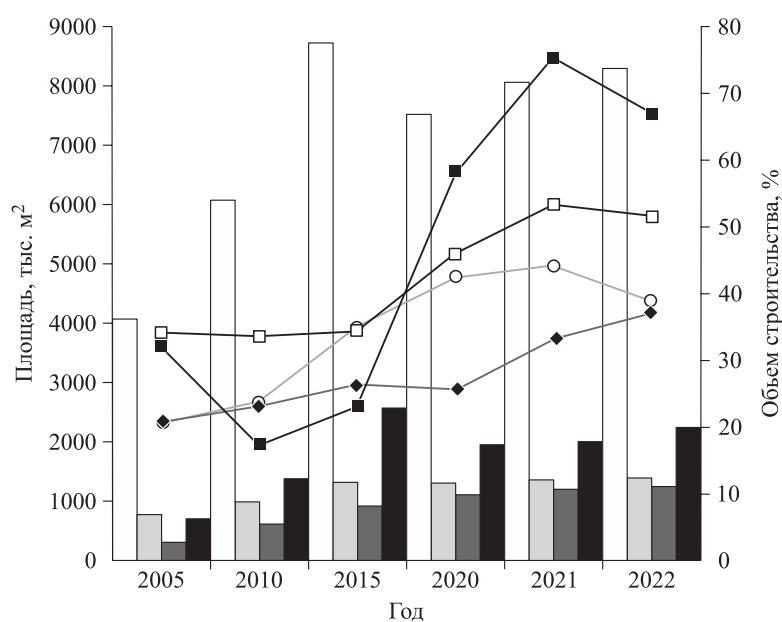
Очевидно, что приоритетными объектами подключения магистрального газа станут крупные потребители энергии – ТЭЦ. Частный сектор, прочие индивидуальные потребители газ получают не сразу или может не получают вовсе, поскольку малорентабельно строить и обслуживать разветвленную сеть газопроводов низкого давления в условиях плотной застройки, наличия различных собственников земельных участков и итогового небольшого объема потребления газа. На сегодняшний день в Красноярске имеется 18 486 частных индивидуальных домов (Жилищный фонд..., 2024). Число пеллетных

котлов, установленных частными домовладельцами Красноярска неизвестно. Даже при наличии мер поддержки и субсидирования внедрение пеллетных котлов идет очень медленно. Например, в Германии (а там действует специальная программа Klimaschutzprogramm 2030 по внедрению пеллетных котлов) сегодня работает более 6 млн котлов на жидком углеродном топливе, более 40 млн котлов на природном газе и всего 0.4 млн пеллетных котлов, т. е. менее 1 %. Предполагая, что мерами поддержки, субсидированием, агитацией можно выйти на уровень обеспечения пеллетными котлами в 30 %, получим для Красноярска около 5.5 тыс. котлов с ориентировочным потреблением пеллет не более 30–40 тыс. т, тогда как только «ДОК Енисей» производит более 120 тыс. т пеллет в год. И модернизация, и переход на пеллетные котлы затянется на годы.

В ситуации санкционных ограничений, малодоступности традиционных рынков сбыта, высокой конкуренции на перспективных рынках и имеющихся логистических затруднений следует диверсифицировать пути и технологии переработки низкокачественной древесины и древесных отходов. Хорошей альтернативой может стать производство строительных материалов на основе технологии плит, древесных термопластов, древесно-минеральных композитов. Индивидуальное и коллективное жилищное строительство является локомотивом для большого количества отраслей экономики, поскольку потребляет львиную долю строительных, теплоизоляционных, декоративных облицовочных материалов, энергии, логистических услуг.

Строительная отрасль СФО динамично развивается. В 2022 г. введено в эксплуатацию 8288 тыс. м<sup>2</sup> общей площади жилых помещений. Динамика ввода в эксплуатацию жилья имеет устойчивый положительный характер (Регионы..., 2023) (рис. 3).

Более 50 % построенных объектов – индивидуальные дома. Частный застройщик крайне заинтересован в недорогом, высокоэффективном строительном материале. В этой связи производство продукции на основе технологии измельченной древесины будет иметь устойчивый потенциал платежеспособного спроса. Основным потребителем такой продукции будет частный застройщик объектов ИЖС. В качестве основных объектов потребления при возведении и эксплуатации жилых объектов можно выделить конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы, пригодные для



|                                        |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Общая площадь СФО, тыс. м <sup>2</sup> | 4076 | 6061 | 8722 | 7488 | 8075 | 8288 |
| Красноярский край, тыс. м <sup>2</sup> | 780  | 988  | 1311 | 1307 | 1346 | 1396 |
| Иркутская обл, тыс. м <sup>2</sup>     | 303  | 628  | 923  | 1106 | 1204 | 1251 |
| Новосибирская обл, тыс. м <sup>2</sup> | 704  | 1380 | 2588 | 1944 | 2005 | 2244 |
| ИЖС по СФО, %                          | 34.3 | 33.7 | 34.4 | 46.0 | 53.5 | 51.6 |
| ИЖС Красноярский край, %               | 20.5 | 23.9 | 35.2 | 42.6 | 44.3 | 38.8 |
| ИЖС Иркутская обл, %                   | 32.3 | 17.4 | 23.2 | 58.3 | 75.5 | 67.0 |
| ИЖС Новосибирская обл, %               | 20.8 | 23.1 | 26.4 | 25.6 | 33.3 | 37.2 |

Рис. 3. Темпы и объемы строительства в СФО и отдельных субъектах (Регионы..., 2023).

возведения стен. В качестве таких материалов могут успешно выступать древесно-минеральные композиты, а также различного вида плиты (OSB, ДВП, ДСП, МДФ, ЦСП). Строительство индивидуальных жилых домов на территории СФО не требует вывода из эксплуатации и выкупа существующего жилфонда, поскольку имеются значительные относительно свободные, не застроенные территории. Такое строительство подразумевает активное участие собственника и членов его семьи, что позволяет повысить экономичность строительства и обеспечить полезное проведение досуга и в какой-то степени отдыха, если под этим термином понимать смену вида трудовой деятельности. За последние 15 лет в СФО индивидуальными застройщиками введено в эксплуатацию более 20 млн м<sup>2</sup> жилья. В текущей ситуации задача лесной и лесоперерабатывающей промышленности – обеспечить застройщика доступными и качественными строительными материалами.

Организация современного плитного производства требует наличия современного оборудования и значительных инвестиций. В Томске в 2022 г. был запущен завод по производству

плит OSB расчетной мощностью 250 тыс. м<sup>3</sup> готовой продукции в год. Объем инвестиций превысил 6.5 млрд руб. Производство основано на технологическом оборудовании компании IMAL (Италия). Инвестиции составляют около 27 тыс. руб. на 1 м<sup>3</sup> готовой продукции. В условиях ограничения поставок зарубежного оборудования планировать строительство подобных предприятий в настоящее время нереально. Необходимо поиск сравнительно недорогих альтернативных способов переработки древесных отходов на высоколиквидную продукцию.

Перспективным направлением является выпуск древесно-минеральных композитов (ДМК) в виде блоков и строительных панелей. Древесно-минеральные на основе измельченной древесины и минеральных вяжущих веществ обладают высокими сравнительными эксплуатационными показателями (Долматов, 2023). Простота и доступность оборудования, сравнительно низкая стоимость и доступность сырья для производства ДМК будут положительно сказываться на решении вопросов обеспечения жильем жителей региона (Ковалев, Долматов, 2021).



Технология ДМК гораздо дешевле и проще, чем технология плитного производства. Производство ДМК может быть организовано на базе предприятий, занимающихся выпуском песчано-цементных, пенобетонных и газосиликатных блоков. Кроме того, вопросы утилизации отходов находятся в плоскости интересов не только конкретного производителя, но и общества и государства в целом. В мировой практике существует опыт законодательного формирования векторов комплексной утилизации и переработки отходов. Для этого применяется система грантов, льготного налогообложения и прямого законодательного ограничения. В Евросоюзе сложилась практика предоставления промышленности, работающей на основе использования древесной биомассы и отходов, конкурентных преимуществ по сравнению с обычными отраслями (Васильев и др., 2013; Junginger et al., 2019). Подобная практика существует в США (Turner et al., 2005).

Относительно прогноза объемов потребления ДМК в виде строительных блоков и панелей можно опираться на потребления газо- и пенобетонных изделий. Согласно отчетным данным Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона (НААГ, 2020), общий объем производства автоклавного газобетона в 2020 г. составил 13.73 млн м<sup>3</sup>. На долю СФО приходится 12.7 % от общего объема производства.

В табл. 3 показано удельное потребление автоклавного газобетона в расчете на единицу площади жилищного строительства.

Таким образом, при объеме ввода жилья в СФО в 2022 г. 8288 тыс. м<sup>2</sup> расчетное потребление газобетона составит около 1.1 млн м<sup>3</sup> (рис. 3). Оценить масштабы производства пенобетона несколько сложнее. В отличие от технологии автоклавного газобетона, техно-

логия пенобетона гораздо проще и потому его производством занимаются множество мелких предприятий, часто пенобетон изготавливается прямо на строительной площадке. Специфика рынка пенобетона – отсутствие четкой статистики и отчетности по производителям. Принимая долю пенобетона относительно автоклавного газобетона в 30–35 %, можно ориентировочно считать, что в СФО ежегодно его потребляется не менее 350 тыс. м<sup>3</sup>. Следовательно, объем рынка конкурентного замещения строительных конструкций из газо- и пенобетона составляет для СФО не менее 1.45 млн м<sup>3</sup>. При наличии мер экономического стимулирования, политической воли при решении вопросов экологической и пожарной безопасности, эти объемы вполне могут быть обеспечены блоками и панелями из древесно-минеральных композиционных материалов.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. СФО и Красноярский край в частности являются территориями с интенсивной лесозаготовительной и лесоперерабатывающей деятельностью, обладающими серьезными запасами лесных ресурсов. Устаревшая технология лесозаготовки и лесопереработки, повреждения пожарами и вредителями леса приводят к формированию огромных запасов поврежденной, низкокачественной древесины и древесных отходов. Суммарный объем таких ресурсов превышает 200 млн м<sup>3</sup>.

2. В настоящее время сложились объективные факторы, ограничивающие или делающие невозможным полное вовлечение в переработку обозначенных ресурсов на топливные гранулы – пеллеты:

- ограничения логистики и сбыта продукции на ведущих мировых рынках потребления, высокие тарифы и значительные расстояния транспортировки;

- зачаточное состояние внутреннего рынка потребления с туманными перспективами его развития;

- зависимость материально-технической и производственной базы от поставок импортного оборудования, находящегося под санкционным давлением;

- диспропорция между пунктами образования низкокачественной древесины и отходов, местами производства и пунктами перевалки, хранения и погрузки пеллет;

**Таблица 3.** Применение газобетона в жилищном строительстве РФ (НААГ, 2020)

| Регион России     | Автоклавный газобетон, м <sup>3</sup> / м <sup>2</sup> площади |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| Центральный       | 0.21                                                           |
| Южный             | 0.22                                                           |
| Уральский         | 0.2                                                            |
| Северо-Западный   | 0.13                                                           |
| Приволжский       | 0.15                                                           |
| Сибирский         | 0.13                                                           |
| Северо-Кавказский | 0.09                                                           |
| Дальневосточный   | 0.07                                                           |

– отсутствие отечественного доступного оборудования для изготовления пеллет требуемого качества, транспорта, перевалки, хранения

3. В этой связи весьма перспективным выглядит производство древесно-минеральных композиционных материалов. Устойчивый рост темпов индивидуального жилищного строительства обеспечит потребление конструктивно-теплоизоляционных строительных материалов, изготовленных из древесно-минеральных композитов. При этом будут задействованы ресурсы древесного сырья и отходов, высвобождаемые при снижении темпов и объемов производства древесных топливных гранул.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранчиков Ю. Н., Петько В. М., Астапенко С. А., Акулов Е. Н., Кривец С. А. Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири // Лесн. вестн. 2011. № 4 (80). С. 78–81.
- Биотопливный конгресс – 2022. Что ждет российский пеллетный рынок // ЛПК Сибири. 2022. № 1. С. 94–95.
- Васильев И. А., Королева Т. С., Романюк Б. Д. Зарубежный опыт стимулирования использования возобновляемых древесных источников энергии // Тр. СПбНИИЛХ. 2013. № 3. С. 5–21.
- Газпром прорабатывает вопрос газификации Красноярска // ТАСС, 19 декабря 2023 г. <https://tass.ru/ekonomika/19581785>
- Глобальная оценка лесных ресурсов 2015. Как меняются леса мира? Вторая редакция. Рим: ФАО ООН, 2015. 50 с.
- Долматов С. Н. Анализ теплозащитных показателей ограждающих конструкций объектов малоэтажного домостроения лесных и сельских районов в условиях периодической генерации тепловой энергии // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 181–188.
- Долматов С. Н., Макунина Я. С. Плотность сети лесных дорог как фактор устойчивого лесопользования на примере лесов Красноярского края // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экол. Природопольз. 2023. № 3 (59). С. 87–97.
- ЕМИСС. Объем заготовленной древесины, 2022. <https://fedstat.ru/indicator/43442>
- Жилищный фонд и коммунальное хозяйство. Красноярск: Администрация города, 2024. <https://www.admkrsk.ru/citytoday/municipal/fond/Pages/default.aspx>
- Кархова С. А. Оценка тенденций мирового рынка древесных пеллет и перспективы Российской Федерации на данном рынке // Науч. журн. Байкал. гос. ун-та. 2022. Т. 13. № 3. 15 с.
- Кархова С. А. Проблемы и перспективы производства и сбыта древесных пеллет в условиях экономических санкций 2022 года // Состояние окружающей среды: проблемы экологии и пути их решения: Материалы III Всерос. науч.-практ. конф., Усть-Илимск, 15 декабря 2022 г. Иркутск: Байкал. гос. ун-т, 2023. С. 76–84.
- Ковалев Р. Н., Долматов С. Н. Анализ сырьевого потенциала поврежденных лесов Красноярского края в целях промышленного производства древесно-цементных композитов // Хвойные бореал. зоны. 2021. Т. 39. № 6. С. 483–491.
- Красноярский филиал ФГБУ «ВНИИКР» выявил опасного вредителя древесины. Красноярск: Упр. Россельхознадзора по Красноярскому краю, 2024. <https://vniikr.ru/news/krasnoyarskiy-filial-fgbu-vniikr-vsuyavil-opasnogo-vreditelya-drevesiny/>
- Кривокоченко Л. В. Мировой рынок древесных топливных гранул: современное состояние и перспективы развития // Рос. внешнеэкон. вестн. 2021. № 7. С. 61–73.
- Лескинен П., Линднер М., Веркерк П. Й., Набуурс Г. Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М., Леринк Б. (ред.) Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука. Йёнссу, Финляндия: Европ. ин-т леса, 2020. 142 с.
- НААГ. Статистика, собранная о рынке автоклавного газобетона. СПб., 2020. <https://gazo-beton.org/statistika-ro-yab>
- Передерий С. Э. Топливные гранулы для генерации электрической и тепловой энергии // Леспроминформ. 2020. № 5 (151). С. 106–107.
- Производители биотоплива из опилок предупредили о резком падении продаж // РБК, 2022. <https://www.rbc.ru/business/24/06/2022/62b1c1519a7947bfefea7dc6>
- Пряничникова А. В., Звягинцев В. Ю. Перспективы переработки низкокачественной древесины для улучшения лесопатологической обстановки Красноярского края // Экология, рациональное природопользование и охрана окружающей среды: Сб. ст. по материалам XI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых, Лесосибирск, 2021. Красноярск: филиал СибГУ в г. Лесосибирске, 2021. С. 216–219.
- Регионы России. Социально-экономические показатели 2023 года. Р32 Стат. сб. М.: Росстат, 2023. 1126 с.
- Специалистами Управления Россельхознадзора по Красноярскому краю установлен очаг опасного карантинного вредителя леса – сибирского шелкопряда. Красноярск: Управл. Россельхознадзора по Красноярскому краю, 2016. <https://fsvps.gov.ru/news/video-specialistami-upravleniya-rosselkhoznadzora-po-krasnojarskomu-kraju-ustanovlen-ochag-opasnogo-karantinno-vreditelja-lesa-sibirskogo-shelkopryada/>
- Стратегия развития лесного комплекса Красноярского края до 2030 года. Приложение к Распоряжению Правительства Красноярского края от 6 мая 2020 г. № 271-р. Красноярск: Правительство Красноярского края, 2020. 54 с. (12 приложений).
- Хартанович Е. А., Зеленская Т. В. Состояние и использование лесосырьевой базы Красноярского края как предпосылки формирования кластера по переработке отходов лесного комплекса // Вестн. Алтай. акад. экон. и права. 2020. № 11 (3). С. 548–553.
- Шишелов М. А., Носков В. А. Тенденции и перспективы развития лесного сектора Республики Коми // Рег. экон.: теор. и практ. 2018. Т. 16. № 2. С. 230–248.
- Юртаева Л. В., Алашкевич Ю. Д. Способ получения микрокристаллической целлюлозы на основе биоповрежденной древесины // Хвойные бореал. зоны. 2022. Т. 40. № 2. С. 158–163.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>  
Junginger M., Järvinen M., Olsson O., Hennig C., Dadhich P. Transboundary flows of woody biomass waste streams in Europe. IEA Bioenergy, 2019. 65 p.

Turner J. A., Buongiorno J., Zhu Sh. Prestemon J. P. The U.S. Forest sector in 2030: Markets and competitors // For. Products J. 2005. V. 55. Iss. 5. P. 27–36.  
Wood Resources International, 2024. <https://woodresource.com/>

## DEVELOPMENT OF LOW-QUALITY DAMAGED WOOD AND WOOD WASTE IN KRASNOYARSK KRAI

S. N. Dolmatov, P. G. Kolesnikov, A. I. Perezhilin

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology  
Prospekt Krasnoyarskiy rabochiy, 31, Krasnoyarsk, 660037 Russian Federation*

---

E-mail: pipinaskus@mail.ru, mfsibgtu@mail.ru, alex\_pr@sibsau.ru

Krasnoyarsk Krai and Irkutsk Oblast are the leading regions of the Russian Federation in terms of timber harvesting. However, the gross regional product of the forest industry in the region does not exceed 2.5 %. Forest areas of the Siberian Federal District regularly burn and are affected by forest pests. In this case, significant volumes of damaged and low-quality wood are formed. Wood processing adds waste in the form of sawdust, slabs, slats. The policy of uncontrolled growth in harvesting volumes in coniferous forest stands in order to obtain exclusively high-quality round timber has led to the depletion of timber resources, an increase in timber transportation distances, and increased complexity of logistics. A way out of the current negative situation can be a justified focus on deep processing of wood raw materials with the subsequent production of highly marketable products. Global trends in the field of integrated use of wood raw materials make it possible to identify the production of fuel briquettes and pellets as the main vector for processing these resources. A feature of the market for the production and consumption of pellets in the Russian Federation is its exclusively export orientation, the volume of domestic consumption does not exceed 15–20 %. In the current economic and political situation, the Russian Federation has practically lost its usual markets for pellets in Europe. Manufacturers' focus on South Korea and Japan faces logistics challenges and aggressive competition from Vietnam, Canada and the United States. Under these conditions, a way out of the situation associated with the insufficient involvement of low-quality wood and waste in industrial processing may be the direction of processing in the hope of supplying the building materials market with boards and wood-mineral composites. These products are highly processed products and have predictable internal demand and sales market.

**Keywords:** *forest resources, low-quality and damaged wood, pellets, market, competition, logistics and sales, wood composite materials, housing construction, ecology.*

**How to cite:** Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G., Perezhilin A. I. Development of low-quality damaged wood and wood waste in Krasnoyarsk Krai // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 88–100 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*3:630\*785

## К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПОСТАВОК ТОВАРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

И. М. Еналеева-Бандура<sup>1</sup>, А. Н. Баранов<sup>1</sup>, С. А. Бровкин<sup>1</sup>,  
И. В. Григорьев<sup>2</sup>, Р. Н. Ковалев<sup>3, 4</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева  
660037, Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

<sup>2</sup> Арктический государственный агротехнологический университет  
677007, Республика Саха (Якутия), Якутск, Сергеляхское шоссе, 3/3

<sup>3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

<sup>4</sup> Уральский государственный аграрный университет  
620075, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42

E-mail: melnikov1978@inbox.ru, aleksandr-baranov-55@mail.ru, worbl@mail.ru,  
silver73@inbox.ru, kovalevrn@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 25.03.2024 г.

Проанализированы и актуализированы особенности процессов функционирования транспортно-технологической системы поставок товарной древесины и ее управления, а также основные параметры оптимизации системы управления цепями поставок товарной древесины для обеспечения эффективности процесса. Предложен многокритериальный подход к оценке эффективности функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины и разработана ее математическая модель, основанная на методах линейного и динамического программирования, стохастического и экономико-математического моделирования, элементах статистического и экономического анализа. Совокупность отмеченных методов моделирования позволяет модели быть достаточно простой и надежной в практическом применении, а также адаптивной к изменяющимся внешним условиям производственной среды. Разработана представлена подробным описанием всех входящих в нее зависимостей, отмечены преимущества ее применения.

**Ключевые слова:** транспортно-технологический процесс, древесина, математическая модель, многокритериальная оценка эффективности процесса.

DOI: 10.15372/SJFS20240612

### ВВЕДЕНИЕ

Транспортно-технологический процесс поставок товарной древесины от производителей до потребителей – один из наиболее трудоемких и фондоемких в лесной отрасли, на его долю приходится более половины совокупных затрат. Современное управление цепями поставок товарной древесины от поставщиков к потребителям включает в себя широкий спектр логистических услуг, в том числе управление взаимодействием процессов производства древесины, работы лесных складов, лесотранспорта и потребительского спроса.

Проблемность в постановке задачи оптимизации функционирования такой сложной системы определяется, с одной стороны, многовариантностью процесса поставок товарной древесины, которая связана с применением различных видов транспорта и марок подвижного состава на вывозке древесины, разных технологий хранения и учета древесины, а также с многоассортиментностью потоков товарной древесины и разнообразием схем организации рассматриваемого процесса.



С другой стороны, отмеченная сложность задается влиянием на рассматриваемый процесс различных дестабилизирующих его функционирование внешних факторов, генерируемых производственной средой, при этом как процесс поставок товарной древесины, так и производственная среда его функционирования обладают пространственно-временной динамикой.

Очевидно, что эффективным решением указанной задачи является выработка действенного в практическом применении методологического аппарата, способствующего качественному принятию управленческих решений, направленных на обеспечение эффективности процесса поставок товарной древесины. В этой связи в научной литературе как в России, так и за рубежом, существует довольно значительное количество трудов, направленных на поиск методов, позволяющих количественно и качественно оценить параметры функционирования процесса поставок товарной древесины в целях принятия рациональных решений по управлению рассматриваемым процессом (Коняшова, 2013; Григорян, 2015; Мохирев и др., 2020; и др.). Несмотря на множественность научных наработок, в данных трудах нет комплексного подхода к формированию показателей отмеченной оценки, которые позволили бы всесторонне, разнопланово и многоаспектно оценить параметры функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

Таким образом, очевидно, что существует как теоретическая, так и практическая необходимость выработки универсального, адаптивного к условиям производственной среды и доступного на практике в применении методологического аппарата комплексной оценки эффективности функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

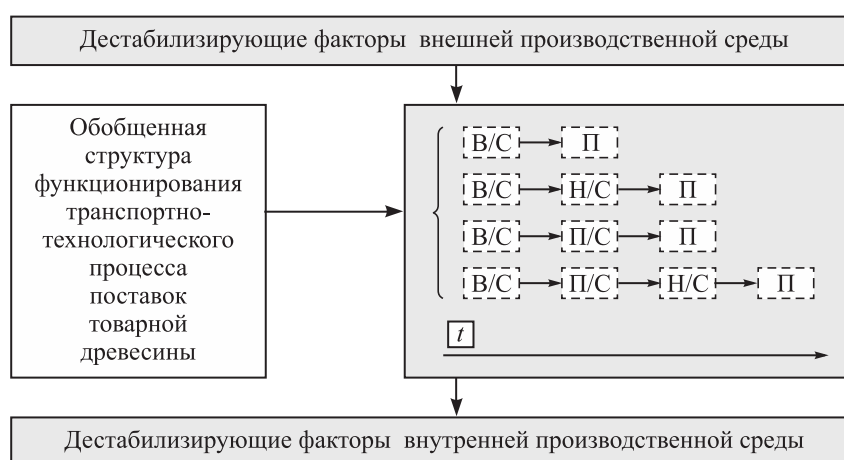
## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Под транспортно-технологическим процессом поставок товарной древесины от производителей до потребителей следует понимать сложную систему, состоящую из множества взаимосвязанных и взаимозависимых элементов, к которым относятся пункты заготовки древесины (пункты отправления), перевалочные пункты и терминалы (нижние склады предприятия, склады сезонного хранения, перевалочные пункты, прирельсовые склады и т. д.), потребители (пункты назначения древесины), транспортные связи между всеми пунктами отправления, перевалки, хранения и потребления (Папонов, 1997; Мохирев и др., 2020). Особенность данной системы в том, что все отмеченные элементы в основе своего функционирования носят пространственно-временной динамический характер. При этом меняются не только параметры самого процесса, но и внешняя производственная среда данного процесса. В свою очередь, данная производственная среда наряду со свойством динамичности обладает также свойством стохастичности, т. е. возможностью проявления в том числе в ее среде негативных явлений, заданных случайными величинами. Данные негативные явления, генерируемые производственной средой, оказывают дестабилизирующее воздействие на процесс поставок товарной древесины и могут быть обозначены как факторы, дестабилизирующие надежность функционирования транспортно-технологического процесса предприятий лесной отрасли.

Поскольку рассматриваемая производственная среда подразделяется на внутреннюю и внешнюю, то к дестабилизирующим факторам внутренней производственной среды относятся сезонность заготовок, использование различных видов транспортных средств, естественное колебание запасов лесоматериалов, большая территориальная разобщенность пунктов заготовок, широкая номенклатура видов перевозимой товарной древесины. К дестабилизирующим факторам внешней производственной среды относятся колебание цен и тарифов, зависимость от природных условий, деятельность монопольных и законотворческих структур и т. п. (рис. 1).

Очевидно, что лесозаготовительное предприятие в своей хозяйственной деятельности может использовать как один вариант формирования цепей поставок товарной древесины, например верхний лесной склад – потребитель, так и все четыре приведенных возможных вариантов.

Как было отмечено ранее, процесс поставок товарной древесины – сложная система и остается актуальной задача обеспечения эффективности функционирования рассматриваемого процесса. Принятие управленческих решений в этих условиях должно базироваться на определении и оценке основных критериев, характеризующих функционирование процесса поставок товарной древесины в его сопряжении с факторами производственной среды. Анализ вышеотмеченных научных трудов, посвященных данной проблеме, достаточно объемён и заслуживает отдельного научного исследования, поэтому ниже обозначены лишь ее основные аспекты.



**Рис. 1.** Укрупненная схема функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины в производственной среде.

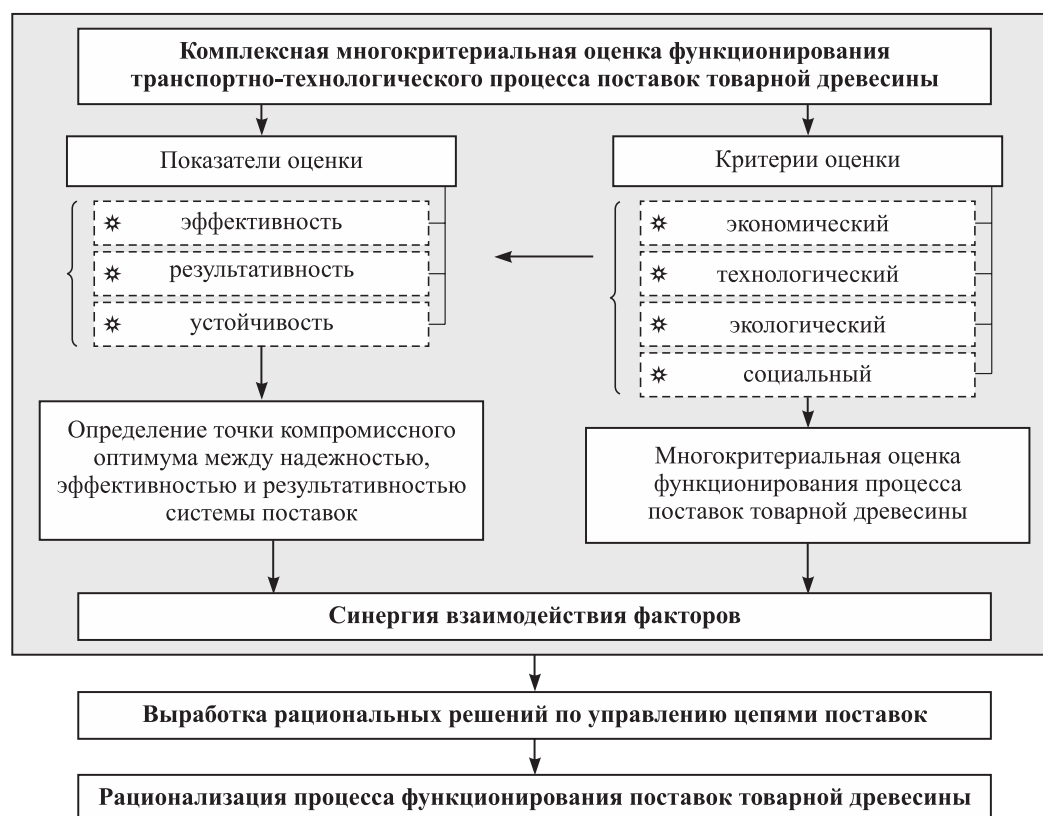
В/С – верхний лесной склад; П – потребители товарной древесины; Н/С – нижний лесной склад; П/С – промежуточный (сезонный) лесной склад; → транспортные связи в цепях поставок товарной древесины;  $t$  – период времени.

В основу трудов по методологическим разработкам положена оценка эффективности технологических процессов, рассматриваемая многоаспектно, т. е. наряду с технико-технологической позицией оценки он включает экономическую, экологическую и социальную составляющие (Мезенина и др., 2014; Шаин, 2017; Мохирев и др., 2020). Данный подход, по-нашему мнению, верен, поскольку направлен на сбалансированное развитие лесных территорий. При этом в отмеченных выше публикациях не уделяется внимания тому, что эффективность – далеко не единственный ключевой показатель оценки функционирования технологических процессов и поэтому не может быть достаточным для принятия качественных управленческих решений.

С учетом данного обстоятельства проведен анализ научной литературы в аспекте определения других значимых показателей оценки функционирования технологического процесса (Папонов, 1997; El-Sayed et al., 2010; Cardona-Valdes et al., 2011; Коняшова, 2013; Шурыгина, 2013; Григорян, 2015; Fahimnia et al., 2015; Movahedipour et al., 2016; Nooraie, Parast, 2016; Чижов, 2017; Аткинсон и др., 2019; Медведев и др., 2019).

Согласно специальной литературе (Чижов, 2017; и др.), одним из наиболее важных показателей функционирования технологического процесса является его результативность, т. е. соответствие уровня выполненных работ уровню запланированных результатов. Также данный показатель указывает на возможность или невозможность достижения результата функционирования процесса при заданной мере эффекта. Таким образом, сопряжение показателей эффективности и результативности позволяет более полно определить оптимальную стратегию функционирования технологического процесса на базе оценки отношения стоимости запланированных результатов к средствам, затраченным на их достижение (т. е. определения, стоит ли поставленная цель планируемых на ее достижение затрат).

Наряду с показателями эффективности и результативности, еще одним из ключевых показателей оценки качества функционирования технологического процесса является его устойчивость, т. е. некий запас надежности, который дает процессу возможность противостоять влиянию дестабилизирующих факторов (Коняшова, 2013; Григорян, 2015; Медведев и др., 2019). Одним из факторов обеспечения надежности является создание страховых запасов ресурсов, запчастей и т. п. Очевидно, что критериальная направленность целевой функции, отражающей устойчивость процесса, диаметрально противоположна подобной направленности функционала, определяющего эффективность и результативность. При этом рост объемов страховых запасов ведет к повышению затрат на их приобретение и содержание, т. е. снижается экономическая эффективность функционирования процесса, но, с другой стороны, повышается надежность его функционирования, и игнорирование данного фактора может катастрофически сказаться на всем процессе его функционирования. Из сказанного выше следует, что для разработки оптимальных планов стратегического и тактического управления транспортно-технологическим процессом поставок товарной древесины



**Рис. 2.** Параметрическая модель комплексного многокритериального подхода к оценке функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

необходимо определить компромиссный многокритериальный оптимум между показателями эффективности, результативности и устойчивости данного процесса.

С учетом вышеизложенного нами предложен комплексный многокритериальный подход к оценке оптимальности функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины в целях реализации качественных управленческих решений в аспекте обеспечения эффективности, результативности и устойчивости данного процесса. Подобный подход генерирует в себе как определение точки компромиссного оптимума между надежностью системы и необходимостью сокращения издержек на ее создание и содержание, так и всестороннюю оценку рациональности процесса функционирования поставок товарной древесины (рис. 2).

Представленная на рис. 2 параметрическая модель комплексного многокритериального подхода к оценке функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины положена в основу авторской разработки достаточно простого в применении, гибкого к условиям производственной среды и универсального методологического аппарата обеспечения качественных управленческих решений в целях повышения его эффективности, результативности и устойчивости. В основу данного аппарата положена математическая модель в ее динамической постановке с учетом факторов стохастичности производственной среды.

Ниже приведена авторская методологическая разработка, включающая в себя целевую функцию, все входящие в целевую функцию зависимости и систему ограничений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексная оценка функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины ( $F_k^{тпн}$ ) в период времени  $t$  представляет собой целостную систему, содержащую в себе аналитически выраженную взаимосвязь и взаимозависимость основных показателей эффективности, результативности и устойчивости функционирования данного процесса на основе технико-эколо-социоэкономического критерия оптимальности их сопряжения в условиях динамики производственной среды.

Предлагаем определять указанную оценку согласно выражению

$$F_k^{ТП} = \begin{cases} \mathcal{E}_{общ}^{ТП}(t) = \lim_{R(t) \rightarrow 1} \sqrt[4]{\mathcal{E}_{ЭК}^{ТП}(t) \cdot \mathcal{E}_{ЭЛ}^{ТП}(t) \cdot \mathcal{E}_{ТЕХ}^{ТП}(t) \cdot \mathcal{E}_{СОЦ}^{ТП}(t)} \\ R_{общ}^{ТП}(t) = \lim_{Пд(t) \rightarrow 1} \sqrt[4]{R_{ЭК}^{ТП}(t) \cdot R_{ЭЛ}^{ТП}(t) \cdot R_{ТЕХ}^{ТП}(t) \cdot R_{СОЦ}^{ТП}(t)} \rightarrow opt, \\ Y_{общ}^{ТП}(t) = \lim_{Ст(t) \rightarrow 1} \sqrt[4]{Y_{ЭК}^{ТП}(t) \cdot Y_{ЭЛ}^{ТП}(t) \cdot Y_{ТЕХ}^{ТП}(t) \cdot Y_{СОЦ}^{ТП}(t)} \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{общ}^{ТП}$  – обобщенный показатель эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ,  $t \in [0, \dots, T]$ ;

$R_{общ}^{ТП}$  – обобщенный показатель результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$Y_{общ}^{ТП}$  – обобщенный показатель устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$R$  – рентабельность функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ . Данный показатель является основным инструментом, характеризующим все виды эффекта функционирования процесса поставок товарной древесины;

$Пд$  – продуктивность функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ . Данный показатель отражает комплексную результативность использования всех видов ресурсов (труда, капитала, технологии и пр.);

$Ст$  – стабильность функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ . Данный показатель характеризует все виды устойчивости функционирования процесса поставок товарной древесины;

$\mathcal{E}_{ЭК}^{ТП}$  – показатель экономической эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$\mathcal{E}_{ЭЛ}^{ТП}$  – показатель экологической эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$\mathcal{E}_{ТЕХ}^{ТП}$  – показатель технологической эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$\mathcal{E}_{СОЦ}^{ТП}$  – показатель социальной эффективности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$R_{ЭК}^{ТП}$  – показатель экономической результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$R_{ЭЛ}^{ТП}$  – показатель экологической результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$R_{ТЕХ}^{ТП}$  – показатель технологической результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$R_{СОЦ}^{ТП}$  – показатель социальной результативности функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$Y_{ЭК}^{ТП}$  – показатель экономической устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$Y_{ЭЛ}^{ТП}$  – показатель экологической устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ ;

$Y_{ТЕХ}^{ТП}$  – показатель технологической устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса, в период времени  $t$ ;

$Y_{СОЦ}^{ТП}$  – показатель социальной устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса в период времени  $t$ .

Далее представлен математический аппарат определения показателей, входящих в целевую функцию.

Экономическая эффективность функционирования транспортно-технологического процесса представляет собой отношение фактической прибыли от реализации товарной древесины в период



времени  $t$  к затратам, связанным с транспортировкой древесного сырья потребителю в интервал времени  $[(t-1); t]$  и определяется согласно выражению

$$\Theta_{\text{эк}}^{\text{тп}}(t) = \frac{\Pi_{\text{ф}}^2 \cdot (t)^2}{(S_{\text{стр}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L S_{\text{тр}})^2 \cdot (t-1)^2} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где  $S_{\text{тр}}$  – транспортные расходы на вывозку объема  $l$ -го вида товарной древесины с  $i$ -й лесосеки на  $j$ -й склад (прирельсовый участок, потребителю),  $k$ -м типом транспорта леса,  $l \in [1, \dots, L]$ ,  $i \in [1, \dots, m]$ ,  $j \in [1, \dots, n]$ ,  $k \in [1, \dots, K]$  в период времени  $[(t-1); t]$ , руб.;

$\Pi_{\text{ф}}$  – фактическая прибыль на момент оценки (период времени  $t$ ) руб.;

$S_{\text{стр}}$  – затраты на создание лесовозных дорог, их эксплуатацию, стоимость дорожно-строительных материалов, полуфабрикатов, конструкций и изделий, транспортные расходы на доставку материалов и рабочих и прочие затраты, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией транспортной сети на территории лесного фонда в интервал времени  $[(t-1); t]$ , руб. (Дороги лесные..., 2016, 2017).

Показатель экологической эффективности функционирования процесса поставки товарной древесины представляет собой отношение фактического эффекта от реализации природоохранных мероприятий (в стоимостном выражении) в интервал времени  $[(t-1); t]$  к затратам, связанным в основном со снижением негативного воздействия на лесные экосистемы строительства и эксплуатации лесовозных дорог и определяется согласно выражению

$$\Theta_{\text{эл}}^{\text{тп}}(t) = \frac{(N^{\text{д}} - N^{\text{п}} + \Delta B - Z^{\text{экс}})^2 \cdot (t)^2}{S_{\text{эл}}^{\text{сум}^2} (t-1)^2} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где  $N^{\text{д}}$  и  $N^{\text{п}}$  – сумма сборов, налогов и штрафов за загрязнение окружающей среды и др., выплачиваемых предприятием соответственно до и после реализации природоохранных мероприятий в интервал времени  $[(t-1); t]$ , руб.;

$\Delta B$  – возможный прирост валовой выручки ввиду повышения экологичности процесса транспортировки товарной древесины после реализации природоохранных мероприятий в интервал времени  $[(t-1); t]$ , руб.;

$Z^{\text{экс}}$  – эксплуатационные издержки, связанные с содержанием и обслуживанием внедряемой техники в целях реализации природоохранных мероприятий в интервал времени  $[(t-1); t]$ , руб.;

$S_{\text{эл}}^{\text{сум}}$  – затраты, связанные с реализацией мероприятий по снижению негативного воздействия на лесные экосистемы от строительства и эксплуатации лесовозных дорог, руб.

Технологическая эффективность процесса поставки товарной древесины в основном определяется рациональностью использования подвижного состава. Учитывая данное обстоятельство, предлагаем вычислять указанный показатель как отношение суммарной производительности лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых на вывозке товарной древесины за машино-смену в период времени  $t$  к средней суммарной стоимости машино-смены в интервал времени  $[(t-1); t]$  согласно выражению

$$\Theta_{\text{тех}}^{\text{тп}}(t) = \frac{\text{Пр}_{\text{ф}}^2 \cdot (t)^2}{C_{\text{мс}}^{\text{сум}^2} (t-1)^2} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где  $\text{Пр}_{\text{ф}}$  – суммарная производительность лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых в процессе доставки товарной древесины потребителю за машино-смену в период времени  $t$ , руб.;

$C_{\text{мс}}^{\text{сум}}$  – средняя суммарная стоимость машино-смены в интервал времени  $[(t-1); t]$ , руб. Включает в себя затраты на топливо, смазочные материалы, ремонт и техобслуживание, зарплату водителей, амортизацию и пр.

Показатель социальной эффективности процесса поставки товарной древесины рассчитывается как отношение разности между суммарными производительностями лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых в процессе поставки товарной древесины за машино-смену в пери-

оды времени  $t$  и  $(t - 1)$  соответственно к расходам социального характера (затраты на человеческие ресурсы) в интервал времени  $[(t - 1); t]$  согласно выражению

$$\Theta_{\text{соц}}^{\text{тп}}(t) = \frac{(\text{Пр}_{\text{ф}}^t - \text{Пр}_{\text{ф}}^{(t-1)})^2 \cdot (t)^2}{S_{\text{соц}}^{\text{сум}}(t-1)^2} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где  $S_{\text{соц}}^{\text{сум}}$  – затраты, связанные с повышением квалификации рабочих, занятых на вывозке, улучшением условий их труда и т. п., в интервал времени  $[(t - 1); t]$ , руб.

Исходя из утверждения Г. Чинова (2017), что результативность функционирования технологических процессов представляет собой соответствие уровня фактически выполненных работ с уровнем запланированных результатов, нами предлагаются следующие формулы расчета составляющих обобщенного показателя результативности функционирования транспортно-технологического процесса поставки товарной древесины потребителям:

а) экономическая результативность определяется как отношение фактической прибыли от реализации товарной древесины в период времени  $t$  к прибыли, планируемой в период времени  $(t - 1)$ , согласно выражению

$$R_{\text{эк}}^{\text{тп}}(t) = \frac{\Pi_{\text{ф}}(t)}{\Pi_{\text{пл}}(t-1)} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где  $\Pi_{\text{пл}}$  – планируемая прибыль от реализации товарной древесины в период времени  $(t - 1)$ , руб.;

б) экологическая результативность транспортно-технологического процесса поставки товарной древесины представляет собой степень реализации запланированной экологической деятельности, связанной с поставкой древесного сырья потребителям. Определять данную результативность предлагаем посредством отношения фактической суммарной величины: сборов, налогов и штрафов за загрязнение окружающей среды и др., выплачиваемых предприятием ( $N^{\text{ф}}$ ); возможного прироста валовой выручки ввиду повышения экологичности процесса поставки товарной древесины после реализации природоохранных мероприятий ( $\Delta B^{\text{ф}}$ ) с учетом эксплуатационных издержек, связанных с содержанием и обслуживанием внедряемой техники в целях реализации природоохранных мероприятий ( $Z^{\text{эк}^{\text{ф}}}$ ) на момент оценки к сумме плановых значений данных показателей ( $N^{\text{пл}} + \Delta B^{\text{пл}} - Z^{\text{эк}^{\text{пл}}}$ ) в период времени  $(t - 1)$  согласно выражению

$$R_{\text{эл}}^{\text{тп}}(t) = \frac{(N^{\text{ф}} + \Delta B^{\text{ф}} - Z^{\text{эк}^{\text{ф}}})(t)}{(N^{\text{пл}} + \Delta B^{\text{пл}} - Z^{\text{эк}^{\text{пл}}})(t-1)} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

в) технологическую результативность целесообразно определять как отношение фактической суммарной производительности лесовозных автопоездов, занятых в процессе поставки товарной древесины за машино-смену в период времени  $t$  к суммарной плановой производительности лесовозов за машино-смену (Дороги лесные..., 2017) в период времени  $(t - 1)$  согласно выражению

$$R_{\text{тех}}^{\text{тп}}(t) = \frac{\text{Пр}_{\text{ф}}(t)}{\text{Пр}_{\text{пл}}(t-1)} \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где  $\text{Пр}_{\text{пл}}$  – планируемая суммарная производительность лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых в процессе поставки товарной древесины за машино-смену в период времени  $(t - 1)$ , руб.;

г) показатель социальной результативности функционирования транспортно-технологического процесса предприятий лесного комплекса предлагаем определять по формуле средней геометрической величины, опираясь на исследования, приведенные в источниках (Чинов, 2017; Атkinson и др., 2019; и др.), согласно выражению

$$R_{\text{соц}}^{\text{тп}}(t) = \sqrt[3]{K^{\text{ис}} \cdot K^{\text{кв}} \cdot K^{\text{мот}}}, \quad (9)$$

где  $K^{\text{ис}}(t)$  – коэффициент выполняемости плановых работ;  $K^{\text{кв}}(t)$  – коэффициент обеспеченности предприятия квалифицированными кадрами;

$K^{\text{мот}}(t)$  – коэффициент мотивации рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины.

Данные коэффициенты предлагаем определять посредством применения следующих выражений:

$$K^{\text{ис}}(t) = \frac{B_p^{\Phi}(t)}{B_p^{\text{пл}}(t-1)} \cdot 100 \%, \quad (10)$$

где  $B_p^{\Phi}$  – средняя фактическая выработка рабочего, занятого в процессе поставки товарной древесины, в интервал времени  $[(t-1); t]$ , м<sup>3</sup>;

$B_p^{\text{пл}}$  – средняя плановая выработка рабочего, занятого в процессе поставки товарной древесины, в период времени  $(t-1)$ , м<sup>3</sup>;

$$K^{\text{кв}}(t) = \frac{\text{Чр}^{\text{кв}}}{\text{Чр}^{\text{сч}}} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где  $\text{Чр}^{\text{кв}}$  – численность рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины, имеющих квалификацию, чел.;

$\text{Чр}^{\text{сч}}$  – среднесписочная численность рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины, чел.;

$$K^{\text{мот}}(t) = \frac{\sum_{p=1}^{\text{Чр}^{\text{сч}}} B_p^{\Phi}}{\text{ФОТ}^{\text{пр}}} \cdot 100 \%, \quad (12)$$

где  $\text{ФОТ}^{\text{пр}}$  – премиальный фонд оплаты труда рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины потребителям, руб.

Исходя из анализа научных исследований (Коняшова, 2013; Григорян, 2015), можно утверждать, что устойчивость функционирования транспортно-технологического процесса поставки товарной древесины представляет собой способность системы адаптироваться к изменениям природно-производственной среды, т. е. это способность сохранять значения параметров процесса в определенных допустимых интервалах при воздействии на систему дестабилизирующих факторов. Учитывая данное обстоятельство, предлагаем следующие формулы расчета составляющих обобщенного показателя устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса предприятий лесного комплекса:

а) экономическую устойчивость отмеченного процесса предлагаем определять как отношение разности плановой прибыли от реализации товарной древесины с учетом влияния прогнозируемого значения рискообразующих факторов (эффект финансовых потерь в результате воздействия на процесс поставки товарной древесины отраслевых рисков) в период времени  $(t-1)$  и фактической прибыли в период времени  $t$  к резервному капиталу, формируемому предприятием в целях обеспечения бесперебойного и ритмичного функционирования рассматриваемого процесса согласно выражению

$$Y_{\text{эк}}^{\text{тп}}(t) = \frac{(\Pi_{\text{пл}}(t-1) \cdot \prod_{d=1}^D Y_d) - \Pi_{\text{ф}}(t)}{K_{\text{рез}}(t-1)} \cdot 100 \%, \quad (13)$$

где  $K_{\text{рез}}$  – резервный капитал предприятия для обеспечения бесперебойного и ритмичного функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины в кризисных ситуациях, руб. Он формируется посредством создания страхового запаса товарной древесины, содержания сезонных (буферных) лесных складов, комплектования запаса запчастей для лесовозных автопоездов и пр.;

$\prod_{d=1}^D Y_d$  – финансовые потери в результате воздействия на процесс поставки товарной древесины отраслевых рисков – потери сортности товарной древесины, роста инфляции и цен на ГСМ, запчасти и комплектующие; деятельности законотворческих структур; колебания потребительского спроса; неравномерности производства и т. п. Перечень рискообразующих факторов ( $Y$ ) и мера их воздействия на процесс поставок товарной древесины определяются экспертным путем, исходя из мнения специалистов лесной отрасли;

б) для оценки экологической устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса предприятия лесной отрасли предлагаем использовать три основных индикатора – эколо-

гичность технологических процессов, соответствие эталону (лидеру отрасли) и соотношение фактических и плановых затрат на реализацию природоохранных мероприятий согласно выражению

$$Y_{\text{соц}}^{\text{ТП}}(t) = \sqrt[3]{K^{\text{ЭП}} \cdot K^{\text{ЭТ}} \cdot K^{\text{МЗ}}}, \quad (14)$$

где  $K^{\text{ЭП}}(t)$  – коэффициент экологичности транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины;

$K^{\text{ЭТ}}(t)$  – коэффициент эталонности, т. е. достижение показателей экологической деятельности эталонного предприятия (лидера отрасли) в области функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины (в %);

$K^{\text{МЗ}}(t)$  – коэффициент материальных затрат, связанных с реализацией природоохранных мероприятий в аспекте функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

Данные коэффициенты определяются посредством применения следующих выражений:

$$K^{\text{ЭП}}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R \left( \frac{V_r \cdot C_r}{\text{ПДК}} \right) \cdot 100 \%, \quad (15)$$

где  $V_r$  – объем выбросов в атмосферу  $r$ -го токсичного компонента в зоне тяготения лесовозных дорог, образующегося при сжигании ГСМ при эксплуатации  $k$ -го вида подвижного состава как в процессе транспортировки товарной древесины, так и в процессе строительства транспортных путей. Соответственно рассчитывать данный показатель необходимо опираясь на интенсивность движения и продолжительность работы транспорта (в  $\text{м}^3$ ) в интервал времени  $[(t-1); t]$ ;

$C_r$  – концентрация  $r$ -го токсичного компонента,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

ПДК – предельно допустимая концентрация  $r$ -го токсичного компонента в атмосфере,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$$K^{\text{ЭТ}}(t) = \frac{(N^{\Phi} + \Delta B^{\Phi} - Z^{\text{экс}^{\Phi}})(t)}{(N^{\text{Л}} + \Delta B^{\text{Л}} - Z^{\text{экс}^{\text{Л}}})(t)} \cdot 100 \%, \quad (16)$$

где  $N^{\text{Л}}$  – суммарный сбор, налоги и штрафы за загрязнение окружающей среды и др., выплачиваемые эталонным предприятием в период времени  $t$ , руб.;

$\Delta B^{\text{Л}}$  – возможный прирост валовой выручки ввиду повышения экологичности процесса поставки товарной древесины после реализации природоохранных мероприятий эталонным предприятием в период времени  $t$ , руб.;

$Z^{\text{экс}^{\text{Л}}}$  – эксплуатационные издержки, связанные с содержанием и обслуживанием внедряемой техники в целях реализации природоохранных мероприятий эталонным предприятием в период времени  $t$ , руб.;

$$K^{\text{МЗ}}(t) = \frac{S_{\text{эл}}^{\text{сум}}(t)}{S_{\text{эл}}^{\text{сум}}(t-1)} \cdot 100 \%, \quad (17)$$

в) технологическую устойчивость функционирования транспортно-технологического процесса поставки товарной древесины предлагаем определять как отношение фактического времени на поставку древесного сырья потребителям к планируемому времени на реализацию указанных технологических операций согласно выражению

$$Y_{\text{тех}}^{\text{ТП}}(t) = \frac{t_{\Phi}}{t_{\text{пл}}} \cdot 100 \%. \quad (18)$$

Фактические временные затраты на поставку древесного сырья потребителям предлагаем вычислять согласно выражению

$$t_{\Phi} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \left( \frac{(T_c - t_{\text{пз}}) \cdot K_{\text{в}} \cdot Q_{\text{л}}}{120 \left( \frac{l_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} + t_{\text{пр}} \right)} \right) \cdot \prod_{k_d=1}^K k_d, \quad (19)$$



где  $T_c$  – длительность рабочей смены, мин;

$t_{пз}$  – время на подготовительно-заключительные работы, мин;

$K_b$  – коэффициент использования рабочего времени;

$Q_{л}$  – полезная нагрузка на подвижной состав, м<sup>3</sup>;

$l_{п}$  – среднее расстояние доставки объема  $l$ -го вида товарной древесины с  $i$ -й лесосеки на  $j$ -й склад (прирельсовый участок, потребителю),  $k$ -м типом транспорта леса, км;

$v_{п}$  – среднетехническая скорость движения подвижного состава, определяемая в зависимости от категории дорог, по которым осуществляется доставка товарной древесины, км/ч;

$t_{пр}$  – время простоя подвижного состава под погрузкой-разгрузкой, мин;

$\prod_{k_d=1}^K k_d$  – негативное воздействие на сроки поставки товарной древесины интенсивности движения, метеорологических условий, степени ровности дорожного покрытия, неисправности и неработоспособности техники, неравномерности поставок и т. п.

Если в процессе поставки товарной древесины используются различные категории лесных дорог, требуется отдельное определение фактического времени прохождения подвижного состава по каждой из категорий дорог, затем полученные результаты подлежат суммированию;

г) для оценки социальной устойчивости функционирования транспортно-технологического процесса предприятия лесной отрасли предлагаем использовать три основных индикатора – стабильность, текучесть и восполнение персонала, занятого в процессе поставки товарной древесины согласно выражению

$$Y_{соц}^{тп}(t) = \sqrt[3]{K^{ск} \cdot K^{тк} \cdot K^{вк}}, \quad (20)$$

где  $K^{ск}(t)$  – коэффициент стабильности кадров;

$K^{тк}(t)$  – коэффициент текучести кадров;

$K^{вк}(t)$  – коэффициент восполнения кадров, занятых в процессе поставки товарной древесины.

Данные коэффициенты определяются посредством применения следующих выражений:

$$K^{ск}(t) = \frac{Чр^{оп}}{Чр^{св}} \cdot 100 \%, \quad (21)$$

где  $Чр^{оп}$  – численность рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины, отработавших полный период (в основном данный период составляет более 3 лет) в интервал времени  $[(t-1); t]$ , чел.;

$$K^{тк}(t) = \frac{Чр^в}{Чр^{св}} \cdot 100 \%, \quad (22)$$

где  $Чр^в$  – численность рабочих, занятых в процессе поставки товарной древесины, уволившихся с предприятия в интервал времени  $[(t-1); t]$ , чел.;

$$K^{вк}(t) = \frac{Чр^п}{Чр^в} \cdot 100 \%, \quad (23)$$

где  $Чр^п$  – численность рабочих, принятых на предприятия в целях реализации работ, связанных с поставкой товарной древесины, в интервал времени  $[(t-1); t]$ , чел.

Приведенная выше математическая модель реализуется при следующих ограничениях:

– соответствие техническим требованиям (ГОСТ 31507-2012) относительно допустимых скоростей подвижного состава;

– естественное снижение среднетехнических скоростей лесовозных автопоездов

$$\prod_{k_d=1}^K k_d \geq 0; \quad (24)$$

– рациональность расстояния поставки товарной древесины. Эффективное плечо поставки товарной древесины не должно превышать доступное с экономической точки зрения расстояние доставки:

$$l_{п} \leq L_{дост}; \quad (25)$$

– естественная неотрицательность грузопотоков, запасов и кадров:

$$\begin{aligned} Q_{\pi} &\geq 0; \quad t = 0, \dots, T; \quad k = 1, \dots, K, \\ l &= 1, \dots, L, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n, \\ \text{Чр}^{\text{в}}, \text{Чр}^{\text{кв}}, \text{Чр}^{\text{с}}, \text{Чр}^{\text{п}}, \text{Чр}^{\text{оп}} &\geq 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Математическая модель дает возможность поиска точки компромиссного оптимума между эффективностью, результативностью и устойчивостью процесса при оценке оптимальности функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая математическая модель позволяет оценить эффективность, результативность и устойчивость функционирования транспортно-технологического процесса поставок товарной древесины на многокритериальной основе:

– выполнить расчеты изменения уровня устойчивости функционирования процесса поставок товарной древесины при воздействии на данный процесс внешних и внутренних дестабилизирующих факторов;

– рассчитать соотношение общих плановых и фактических затрат, связанных с реализацией процесса поставок товарной древесины;

– всесторонне оценить соотношение планируемых результатов хозяйственной деятельности в процессе поставок товарной древесины и затрат, связанных с получением данных результатов;

– определить оптимальный уровень страховых запасов товарной древесины и других материальных ресурсов для обеспечения устойчивости функционирования процесса поставок товарной древесины;

– выявить точку компромиссного оптимума между запасом надежности процесса поставки и оптимизационными мероприятиями, направленными на снижение как финансовых, так и временных затрат, связанных с поставкой товарной древесины;

– дать количественную оценку качественным критериям оптимальности.

Разработанная модель позволяет адаптивно управлять процессом поставок в различных вариантах сопряжения технологических аспектов и природно-климатических условий производственной среды. В целом представленная методология достаточно универсальна, информативна и удобна в практическом применении. Она позволяет на многокритериальной основе обеспечить качественное принятие управленческих решений, направленных на достижение эффективности, результативности и устойчивости функционирования процесса поставок товарной древесины в условиях динамики и стохастичности производственной среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аткинсон Э. А., Банкер Р. Д., Каплан Р. С., Янг М. С. Управленческий учет. СПб.: Диалектика, 2019. С. 564–565.
- ГОСТ 31507-2012 Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 51 с.
- Григорян Е. С. Классификация видов устойчивости предприятия // Концепт. 2015. № 3. 6 с.
- Дороги лесные. Правила проектирования и строительства. Свод правил СП 288.1325800.2016. М.: Минстрой России, 2016. 111 с.
- Дороги лесные. Правила эксплуатации. Свод правил СП 318.1325800.2017. М.: Минстрой России, 2017. 82 с.
- Коняшова А. В. Показатели оценки функциональных составляющих экономической устойчивости развития предприятия // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2013. № 8 (299). С. 123–128.
- Медведев С. О., Мохирев А. П., Мохирева И. Х., Гудень Т. С. Комплексный подход к оценке деятельности лесопромышленных предприятий // Фундамент. иссл. 2019. № 12. С. 104–108.
- Мезенина О. Б., Камалова О. Ф., Сахончик О. А. Формирование системы показателей оценки эффективности использования земель лесного комплекса // Леса России и хоз-во в них. 2014. № 4 (51). С. 60–67.
- Мохирев А. П., Герасимова М. М., Позднякова М. О. Анализ структуры затрат на транспортировку древесины и их сезонной динамики // Лесотех. журн. 2020. № 2. С. 123–133.
- Папонов Н. Н. Стадийное повышение эксплуатационно-экологического уровня лесовозных автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж: Воронеж. гос. лесотех. акад., 1997. 15 с.

- Чижов Г. Командообразование. Результативность и эффективность работы менеджеров. 2017. <https://ppt-online.org/689651>
- Шаин В. А. Повышение эффективности международных перевозок древесины: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Петрозаводск: Петрозаводск. гос. ун-т, 2017. 158 с.
- Шурыгина О. В. Экологические затраты как экономическая и учетная категории // Вестн. СибГАДА. 2013. Вып. 4 (32). С. 171–178.
- Cardona-Valdes Y., Alvarez A., Ozdemir D. A bi-objective supply chain design problem with uncertainty // Transport. Res. Part C: Emerg. Technol. 2011. V. 19. Iss. 5. P. 821–832.
- El-Sayed M., Afia N., El-Kharbotly A. A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk // Comput. Industr. Engineer. 2010. V. 58. Iss. 3. P. 423–431.
- Fahimnia B., Sarkis J., Davarzani H. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis // Int. J. Product. Econ. 2015. V. 162. P. 101–114.
- Movahedipour M., Yang M., Zeng J., Wu X., Salam S. Optimization in supply chain management, the current state and future directions: A systematic review and bibliometric analysis // J. Industr. Engineer. Manag. 2016. V. 9. N. 4. P. 933–963.
- Nooraie S. V., Parast M. M. Mitigating supply chain disruptions through the assessment of trade-offs among risks, costs and investments in capabilities // Int. J. Product. Econ. 2016. V. 171. Part 1. P. 8–21.

## TOWARDS ASSESSING THE EFFICIENCY OF MANAGING THE COMMERCIAL TIMBER SUPPLY SYSTEM

I. M. Enaleeva-Bandura<sup>1</sup>, A. N. Baranov<sup>1</sup>, S. A. Brovkin<sup>1</sup>, I. V. Grigoriev<sup>2</sup>, R. N. Kovalev<sup>3, 4</sup>

<sup>1</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology  
Prospekt Krasnoyarskiy rabochiy, 31, Krasnoyarsk, 660037 Russian Federation

<sup>2</sup> Arctic State Agrotechnological University  
Sergelyakhskoe shosse, 3/3, Yakutsk, Republic of Sakha, 677007 Russian Federation

<sup>3</sup> Ural State Forest Engineering University  
Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

<sup>4</sup> Ural State Agrarian University  
Karl Liebknecht Str., 42, Yekaterinburg, 620075 Russian Federation

E-mail: melnikov1978@inbox.ru, aleksandr-baranov-55@mail.ru, worb1@mail.ru, silver73@inbox.ru, kovalevrn@m.usfeu.ru

The article analyzes and updates the features of the functioning of the transport and technological system for the supply of commercial wood and supply chain management, and identifies the main parameters for optimizing the supply chain management system for commercial wood to ensure the efficiency of the process. A multi-criteria approach to assessing the efficiency of the transport and technological process of supplying commercial timber is proposed due to the inconsistency of the main indicators that determine its effectiveness. A mathematical model has been developed for a complex multi-criteria assessment of the efficiency of the transport and technological process of supplying commercial wood, based on: methods of linear and dynamic programming, stochastic and economic-mathematical modeling, elements of statistical and economic analysis. The combination of the mentioned modeling methods allows the model to be quite simple and reliable in practical application, as well as adaptive to the changing external conditions of the production environment. The methodological development is presented with a detailed description of all the dependencies included in it, and the advantages of its application are noted.

**Keywords:** *transport and technological process, wood, mathematical model, multi-criteria assessment of process efficiency.*

**How to cite:** Enaleeva-Bandura I. M., Baranov A. N., Brovkin S. A., Grigoriev I. V., Kovalev R. N. Towards assessing the efficiency of managing the commercial timber supply system // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 6. P. 101–112 (in Russian with English abstract and references).

## УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2024 г.)

### ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

|                                                                                                                                                | № | С.  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| <i>А. С. Аверьянов, А. П. Барченков, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова</i>                                                                     |   |     |
| Изменчивость морфологических признаков шишек лиственницы сибирской на юге Сибири .....                                                         | 1 | 13  |
| <i>Ю. Н. Баранчиков, Н. С. Бабичев, Н. Ю. Сперанская, Д. А. Демидко, М. Г. Волкович, Л. С. Снигирева, Е. Н. Акулов, Н. И. Кириченко</i>        |   |     |
| Ясенева изумрудная узкотелая златка ( <i>Agrilus planipennis</i> Fairmaire) (Coleoptera: Buprestidae) на Алтае (Южная Сибирь) .....            | 5 | 79  |
| <i>Ю. Н. Баранчиков, В. И. Пономарев, Н. В. Пащенко, А. А. Ефременко, Д. Ю. Голиков, Г. И. Клобуков, Б. В. Красуцкий, Н. И. Кириченко</i>      |   |     |
| Первые находки инвазивного тандема короед – фитопатогенный грибок в Среднеуральском мегаполисе .....                                           | 1 | 107 |
| <i>В. Е. Бенькова, А. В. Бенькова, Д. А. Машуков, А. С. Прокушкин, А. В. Шашкин, Е. А. Шашкин, А. В. Качаев</i>                                |   |     |
| Радиальный рост деревьев в антропогенно измененном лиственничнике криолитозоны .....                                                           | 5 | 35  |
| <i>Е. Р. Буханов, К. А. Афанасова, В. В. Вагнер, М. Н. Волочаев, В. И. Никитина, С. А. Пятина, А. Д. Шефер, В. Ф. Шабанов</i>                  |   |     |
| Влияние внекорневых подкормок на структурные и оптические свойства пшеницы .....                                                               | 4 | 107 |
| <i>Е. Р. Буханов, А. Д. Шефер, А. В. Шабанов, Ю. Л. Гуревич, М. Н. Крахалев</i>                                                                |   |     |
| Строение, оптические и спектральные характеристики эпикутикулярного воска хвой ели голубой .....                                               | 1 | 97  |
| <i>С. О. Вьюхин, А. А. Григорьев, Д. С. Балакин, А. С. Тимофеев, П. А. Мусеев</i>                                                              |   |     |
| Структура и динамика ценопопуляций ольховника кустарникового в экотоне лес – горная тундра западной части плато Путорана .....                 | 4 | 38  |
| <i>Л. П. Габышева, А. П. Исаев</i>                                                                                                             |   |     |
| Рост лиственничных культур в условиях криолитозоны Якутии .....                                                                                | 1 | 21  |
| <i>А. В. Гирева, О. М. Шабалина, Д. Ю. Павлова</i>                                                                                             |   |     |
| Изменчивость морфометрических признаков побега пихты сибирской по градиенту абсолютной высоты в национальном парке «Красноярские Столбы» ..... | 2 | 50  |
| <i>Ю. Б. Глазунов, Г. А. Полякова, С. А. Коротков, Д. В. Лежнев</i>                                                                            |   |     |
| Естественное возобновление на вырубках в Серебряноборском опытном лесничестве .....                                                            | 2 | 74  |
| <i>С. Н. Долматов, П. Г. Колесников, А. И. Пережилин</i>                                                                                       |   |     |
| Освоение низкокачественной поврежденной древесины и древесных отходов в Красноярском крае .....                                                | 6 | 88  |
| <i>И. М. Еналеева-Бандура, А. Н. Баранов, С. А. Бровкин, И. В. Григорьев, Р. Н. Ковалев</i>                                                    |   |     |
| К оценке эффективности управления системой поставок товарной древесины .....                                                                   | 6 | 101 |
| <i>Т. Т. Ефремова, С. П. Ефремов, А. Ф. Аврова</i>                                                                                             |   |     |
| Окислительно-восстановительные условия торфяных почв осушенных болотных сосняков Западной Сибири .....                                         | 2 | 15  |
| <i>Л. В. Зарубина, С. С. Макаров, И. Б. Кузнецова</i>                                                                                          |   |     |
| Влияние структурной дифференциации деревьев и выборочной рубки на физиологические процессы сосны обыкновенной .....                            | 4 | 84  |
| <i>В. А. Иванов, Г. А. Иванова, Е. О. Бакшеева, Д. В. Шебеко</i>                                                                               |   |     |
| Эмиссии при пожарах в насаждениях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района .....                                                         | 5 | 47  |
| <i>В. Л. Кошкарлова, А. Д. Кошкарлов</i>                                                                                                       |   |     |
| Эколого-ценотические особенности формирования лесных экосистем в среднем течении реки Котуй в контексте глобальных изменений климата .....     | 5 | 57  |
| <i>Л. В. Карпенко</i>                                                                                                                          |   |     |
| Мерзлотно-бугристые болотные комплексы северной тайги Приенисейской Сибири .....                                                               | 2 | 3   |
| <i>А. В. Климов, Б. В. Прошкин</i>                                                                                                             |   |     |
| Влияние эволюции речной системы Алтае-Саянской горной страны на формовое разнообразие современных популяций тополя лавролистного .....         | 1 | 49  |



|                                                                                                                                                                                                                                                      |   |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| <i>А. П. Ковалев, А. Ю. Алексеенко, Т. Г. Качанова</i><br>Лесоводственные принципы выбора способов технологий рубок в лесах Дальнего Востока .....                                                                                                   | 5 | 96  |
| <i>А. П. Ковалев, Е. В. Лашина</i><br>Критерии устойчивости древостоев при заготовке древесины в спелых<br>и перестойных насаждениях .....                                                                                                           | 2 | 59  |
| <i>В. О. Корниенко, В. Н. Калаев</i><br>Жизнеспособность дуба черешчатого в условиях города Донецка .....                                                                                                                                            | 4 | 95  |
| <i>Д. М. Корякина, Н. А. Дружинин, Ф. Н. Дружинин</i><br>Особенности роста древесных видов-интродуцентов в Вологодской области .....                                                                                                                 | 6 | 78  |
| <i>Г. В. Кузнецова</i><br>Вегетативное и семенное потомство редких форм сосны сибирской в Красноярской лесостепи .....                                                                                                                               | 4 | 3   |
| <i>С. Р. Кузьмин, Н. А. Кузьмина</i><br>Доля прямоствольных деревьев у климатипов сосны обыкновенной в географических<br>культурах в Сибири .....                                                                                                    | 6 | 17  |
| <i>А. В. Лебедев</i><br>Динамическая модель роста сосновых древостоев Европейской части России<br>по данным повторных наблюдений .....                                                                                                               | 4 | 72  |
| <i>М. С. Лёзин, В. А. Лёзина</i><br>Натурализация как инструмент повышения адаптивности в будущих сортах<br>вишни войлочной .....                                                                                                                    | 1 | 90  |
| <i>А. И. Лобанов, Н. В. Кутькина, М. А. Мартынова, В. Е. Мулява, В. В. Мулява</i><br>Жизнеспособность и лесоводственно-мелиоративная оценка лиственных лесных полос<br>в Койбальской степи Республики Хакасия .....                                  | 2 | 34  |
| <i>С. Р. Лоскутов, Л. К. Казарян, Е. А. Тютюкова</i><br>Инфракрасная Фурье-спектроскопия биотического повреждения хвои сосны обыкновенной .....                                                                                                      | 6 | 25  |
| <i>С. О. Медведева, О. Е. Черепанова, Е. Г. Филиппов, А. Ю. Тептина</i><br>Использование проточной цитометрии и микросателлитного анализа для определения<br>плоидности некоторых образцов <i>Betula L.</i> ....                                     | 6 | 44  |
| <i>А. И. Монтиле, С. А. Шавнин, А. А. Монтиле, Д. Ю. Голиков</i><br>Влияние краевого эффекта на взаимосвязи отдельных морфологических признаков<br>сосны обыкновенной в естественных насаждениях и лесопарке .....                                   | 1 | 67  |
| <i>Б.-Ц. Б. Намзалов, А. М. Самдан, Л. В. Будажапов, М. Б.-Ц. Намзалов</i><br>Особенности пространственной структуры и ценогенеза реликтовых лиственничников<br>в горной лесостепи Южной Сибири .....                                                | 1 | 3   |
| <i>А. А. Онучин, В. Е. Арясов, А. М. Шемберг</i><br>Специфика прироста разнотелотных сосновых молодняков Красноярской лесостепи<br>в контексте эффективности работы ассимиляционного аппарата .....                                                  | 5 | 28  |
| <i>А. А. Онучин, В. А. Соколов, О. П. Втюрина</i><br>О воспроизводстве лесов в Красноярском крае .....                                                                                                                                               | 6 | 10  |
| <i>Т. П. Орехова</i><br>Размножение тополя корейского <i>in vitro</i> .....                                                                                                                                                                          | 4 | 61  |
| <i>А. Ф. Осипов</i><br>Поступление древесного опада на поверхность почвы среднетаежных сосняков<br>на Европейском Северо-Востоке России .....                                                                                                        | 5 | 103 |
| <i>М. В. Оскорбина, О. В. Калугина, Л. В. Афанасьева</i><br>Влияние выбросов алюминиевого производства на фотосинтетический аппарат<br>лиственницы сибирской .....                                                                                   | 1 | 31  |
| <i>Н. В. Пахарькова, И. В. Масенцова, И. Г. Гетте, Е. Е. Позднякова, А. А. Калабина</i><br>Фотосинтетический аппарат хвои сосны сибирской кедровой в период выхода<br>из состояния зимнего покоя в условиях высотной поясности Западного Саяна ..... | 2 | 41  |
| <i>Д. А. Полосухина, Д. В. Трусков, С. В. Титов, А. С. Прокушкин</i><br>Фракционный состав фитомассы и фотосинтетические пигменты кустарничкового яруса<br>смешанного леса в подзоне средней тайги .....                                             | 4 | 23  |
| <i>И. В. Предеина, К. А. Башегуров, Л. А. Белов, С. В. Залесов, Н. М. Итешина</i><br>Чересполосная постепенная рубка как способ реформирования производных<br>мягколиственных насаждений в коренные хвойные .....                                    | 6 | 59  |

|                                                                                                                                                  |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <i>М. В. Rogozin</i>                                                                                                                             |       |
| Влияние площадей питания на отпад деревьев в культурах сосны .....                                                                               | 1 57  |
| <i>Е. Е. Тимошок, Е. Н. Тимошок, И. И. Гуреева</i>                                                                                               |       |
| Состав, структура и экологические особенности высокогорных старовозрастных кедровников Северо-Чуйского хребта .....                              | 4 11  |
| <i>Н. А. Тимченко, К. Г. Ткаченко, Н. А. Юст, О. Н. Щербакова</i>                                                                                |       |
| Постпирогенное восстановление лиственницы Гмелина в Амурской области .....                                                                       | 6 68  |
| <i>О. В. Толкач, Г. Г. Терехов, Н. Н. Теринов</i>                                                                                                |       |
| Плотность снега под пологом еловых насаждений искусственного происхождения на Среднем Урале .....                                                | 1 78  |
| <i>Е. Ф. Тропина, А. А. Кнорре, М. Г. Ерунова, М. К. Целихин</i>                                                                                 |       |
| Вариабельность влагозапаса снежного покрова в предгорьях Восточного Саяна на фоне климатических сдвигов .....                                    | 4 48  |
| <i>В. А. Усольцев</i>                                                                                                                            |       |
| Зависимость годичного прироста ствола от таксационных и биопродукционных показателей деревьев в сосняках Тургайского прогиба .....               | 6 52  |
| <i>С. К. Фарбер, В. В. Солдатов, Н. С. Кузьмик</i>                                                                                               |       |
| Определение ущерба лесным экосистемам при поражения сибирским шелкопрядом .....                                                                  | 2 21  |
| <i>Г. А. Фирсов, К. Г. Ткаченко, А. В. Волчанская, И. В. Фадеева</i>                                                                             |       |
| Влияние короткопериодных колебаний климата на репродуктивные способности древесных растений в Санкт-Петербурге .....                             | 2 84  |
| <i>О. Л. Цандекова</i>                                                                                                                           |       |
| Особенности формирования подстилки лесных фитоценозов с участием клена ясенелистного .....                                                       | 5 89  |
| <i>И. С. Цепордей</i>                                                                                                                            |       |
| Увеличение охвоенности побегов в широтном градиенте как компенсаторная реакция сосны обыкновенной на снижение суммы эффективных температур ..... | 2 68  |
| <i>И. С. Цепордей, В. А. Усольцев, Д. В. Норицин</i>                                                                                             |       |
| Сопряженность климатических показателей в широтном градиенте при моделировании фитомассы лесообразующих видов Евразии .....                      | 1 40  |
| <i>С. А. Шереметова, Е. Б. Роткина, М. С. Ракина, С. Н. Витязь</i>                                                                               |       |
| Дендрофлора Кузбасса .....                                                                                                                       | 6 31  |
| <i>А. С. Шишкин, Р. Т. Мурзакматов, И. И. Брюханов</i>                                                                                           |       |
| Восстановление усыхающих горных кедровников юга Сибири .....                                                                                     | 5 70  |
| <i>А. А. Шишкина, Н. Н. Карпун</i>                                                                                                               |       |
| Состояние географических культур сосны обыкновенной при грибных болезнях .....                                                                   | 5 112 |
| <i>Н. Çalışkan, Ü. Birben, S. Özden</i>                                                                                                          |       |
| Forest in Comparative Law: Germany, People's Republic of China, Canada, Nigeria and Türkiye .....                                                | 2 103 |

## ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

|                                                                                                                                                                                                               |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>А. Г. Дюкарев, С. Г. Копысов, С. А. Кривец, Е. Н. Пац, Н. А. Чернова</i>                                                                                                                                   |      |
| Опыт и первые результаты комплексных биогеоэкологических исследований в темнохвойных лесах на юге таежной зоны Западной Сибири .....                                                                          | 3 11 |
| <i>А. В. Панов, А. В. Махныкина, А. В. Урбан, В. И. Зырянов, Д. А. Полосухина, Е. А. Кукавская, В. Е. Арясов, Р. А. Колосов, И. Р. Путилин, П. Д. Третьяков, Д. А. Трусов, Р. Т. Садыков, А. С. Прокушкин</i> |      |
| Потоки углерода в экосистемах средней тайги Центральной Сибири .....                                                                                                                                          | 3 37 |
| <i>И. А. Уткина, В. В. Рубцов</i>                                                                                                                                                                             |      |
| Теллермановское опытное лесничество Института лесоведения РАН: 80-летний полигон стационарных биоценотических исследований .....                                                                              | 3 25 |

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

|                                                                                                   |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>И. Н. Безкоровайная, О. М. Шабалина, Л. С. Шугалей</i>                                         |      |
| Основные компоненты искусственных лесных биогеоценозов в условиях многолетнего эксперимента ..... | 3 83 |

|                                                                                        |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| С. Н. Горошкевич, Е. Н. Жук, О. Г. Бендер                                              |       |
| Исследование эколого-географической дифференциации кедра сибирского .....              | 3 54  |
| В. В. Иванов, А. Н. Борисов                                                            |       |
| Депонирование углерода сосновыми древостоями Красноярской лесостепи                    |       |
| при рубках ухода за лесом .....                                                        | 3 103 |
| А. С. Прокушкин, Т. Н. Гейс, Р. А. Колосов, М. А. Корец, А. В. Панов,                  |       |
| Д. А. Полосухина, М. П. Прокушкина, С. В. Титов, И. В. Токарева,                       |       |
| Н. В. Сиденко, Ю. В. Шамонина, С. Г. Прокушкин                                         |       |
| Латеральный сток углерода в криолитозоне Центральной Сибири .....                      | 3 67  |
| М. И. Седаева                                                                          |       |
| Липа в дендрарии экспериментального хозяйства Института леса                           |       |
| им. В. Н. Сукачева СО РАН «Погорельский бор» .....                                     | 3 96  |
| В. Г. Суховольский, О. В. Тарасова                                                     |       |
| Долгосрочная динамика популяций лесных насекомых в Краснотуранском сосновом бору ..... | 3 110 |

## В ПОРЯДКЕ ДИСКУССИИ

|                                                                                   |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова                  |      |
| Структура пула годовичных колец в социумах болотных и суходольных сосняков        |      |
| междуречья Оби и Томи: Сообщение I. Методологическое обоснование                  |      |
| и лесорастительные условия .....                                                  | 5 3  |
| С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова                  |      |
| Структура пула годовичных колец в социумах болотных и суходольных сосняков        |      |
| междуречья Оби и Томи: Сообщение II. Экспериментально-аналитические аспекты ..... | 5 13 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ю. Н. Баранчиков                                                                       |     |
| Предисловие научного редактора тематического номера «Сибирского лесного журнала» ..... | 3 3 |

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ю. Н. Баранчиков                                                                                  |     |
| Крайние авторы .....                                                                              | 3 7 |
| И. А. Керчев, Н. И. Кириченко, Ю. Н. Баранчиков                                                   |     |
| Феромон инвазийных популяций короеда <i>Ips amitinus</i> (Eichhoff) в России пока не найден ..... | 6 3 |

## РЕЦЕНЗИЯ

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| В. И. Пономарев                    |       |
| Воссоздание научного подвига ..... | 3 123 |

## \* ЮБИЛЕЙ

|                                                                     |   |
|---------------------------------------------------------------------|---|
| * П. А. Цветков, Д. И. Назимова, И. Н. Третьякова                   |   |
| Александра Витальевна Волокитина (к 75-летию со дня рождения) ..... | 1 |

## \* ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

|                                                                     |   |
|---------------------------------------------------------------------|---|
| * Михаил Владимирович Rogozin (22.10.1950 – 29.05.2024) .....       | 3 |
| * О. В. Тарасова, В. В. Солдатов, А. В. Ковалев, В. Г. Суховольский |   |
| Елена Николаевна Пальникова (12.03.1954 – 26.11.2018) .....         | 3 |

|                                         |       |
|-----------------------------------------|-------|
| УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2024) ..... | 6 113 |
|-----------------------------------------|-------|

## \* ЭКСПЕРТЫ И РЕЦЕНЗЕНТЫ (2024)

\* Статья публикуется в сетевом издании.

# AUTORS' AND ARTIKLES' INDEX (2024)

## RESEARCH ARTICLES

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    | N. | P.  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|
| <i>A. S. Aver'yanov, A. P. Barchenkov, A. V. Pimenov, T. S. Sedel'nikova</i><br>Variability of Cones Morphological Features of <i>Larix sibirica</i> Ledeb. in the South of Siberia .....                                                                                          | 1  | 13  |
| <i>Yu. N. Baranchikov, N. S. Babichev, N. Yu. Speranskaya, D. A. Demidko, M. G. Volkovitch,</i><br><i>L. S. Snigireva, E. N. Akulov, N. I. Kirichenko</i><br>Emerald Ash Borer <i>Agrilus planipennis</i> Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae)<br>in Altai (Southern Siberia) ..... | 5  | 79  |
| <i>Yu. N. Baranchikov, V. I. Ponomarev, N. V. Pashenova, A. A. Efremenko, D. Yu. Golikov,</i><br><i>G. I. Klobukov, B. V. Krasutskiy, N. I. Kirichenko</i><br>First Findings of an Invasive Tandem Bark Beetle – Phytopathogenic Fungus<br>in the Middle Ural Megalopolis .....    | 1  | 107 |
| <i>V. E. Benkova, A. V. Benkova, D. A. Mashukov, A. S. Prokushkin, A. V. Shashkin,</i><br><i>E. A. Shashkin, A. V. Kachaev</i><br>Radial Growth of Trees in Anthropogenically Modified Larch Forest of the Cryolithozone .....                                                     | 5  | 35  |
| <i>E. R. Bukhanov, K. A. Afanasova, V. V. Vagner, M. N. Volochaev, V. I. Nikitina,</i><br><i>S. A. Pyatina, A. D. Shefer, V. F. Shabanov</i><br>The Influence of Foliar Fertilizing on the Structural and Optical Properties of Wheat .....                                        | 4  | 107 |
| <i>E. R. Bukhanov, A. D. Shefer, A. V. Shabanov, Yu. L. Gurevich, M. N. Krakhalev</i><br>Structure, Optical and Spectral Characteristics of Epicuticular Wax of Blue Spruce Needles .....                                                                                          | 1  | 97  |
| <i>H. Çalışkan, Ü. Birben, S. Özden</i><br>Forest in Comparative Law: Germany, People's Republic of China, Canada, Nigeria and Türkiye .....                                                                                                                                       | 2  | 103 |
| <i>S. N. Dolmatov, P. G. Kolesnikov, A. I. Perezhilin</i><br>Development of Low-Quality Damaged Wood and Wood Waste in Krasnoyarsk Krai .....                                                                                                                                      | 6  | 88  |
| <i>I. M. Enaleeva-Bandura, A. N. Baranov, S. A. Brovkin, I. V. Grigoriev, R. N. Kovalev</i><br>Towards Assessing the Efficiency of Managing the Commercial Timber Supply System .....                                                                                              | 6  | 101 |
| <i>T. T. Efremova, S. P. Efremov, A. F. Avrova</i><br>Redox Conditions of Peat Soils of Drained Swamp Pine Forests of Western Siberia .....                                                                                                                                        | 2  | 15  |
| <i>S. K. Farber, V. V. Soldatov, N. S. Kuzmik</i><br>Determination of Damage to Forest Ecosystems Disturbed by Siberian Silk Moth .....                                                                                                                                            | 2  | 21  |
| <i>G. A. Firsov, K. G. Tkachenko, A. V. Volchanskaya, I. V. Fadeeva</i><br>The Influence of Short-Term Climate Fluctuations on the Reproductive Capacity of Woody Plants<br>in St. Petersburg .....                                                                                | 2  | 84  |
| <i>L. P. Gabysheva, A. P. Isaev</i><br>Growth of Larch Crops in Cryolithozone Yakutia .....                                                                                                                                                                                        | 1  | 21  |
| <i>A. V. Gireva, O. M. Shabalina, D. Yu. Pavlova</i><br>Variability of Morphometric Characteristics of Siberian Fir Shoot by Absolute Height Gradient<br>in the National Park «Krasnoyarskie Stolby» .....                                                                         | 2  | 50  |
| <i>Yu. B. Glazunov, G. A. Polyakova, S. A. Korotkov, D. V. Lezhnev</i><br>Natural Reforestation in Clearcut Area in Serebryanoborsky Experimental Forestry .....                                                                                                                   | 2  | 74  |
| <i>V. A. Ivanov, G. A. Ivanova, E. O. Baksheeva, D. V. Shebeko</i><br>Emissions from Fires in the Stands of Central Siberian Subtaiga-Forest-Steppe Region .....                                                                                                                   | 5  | 47  |
| <i>L. V. Karpenko</i><br>Permafrost-Hilly Swamp Complexes of the Northern Taiga of the Yenisei Siberia .....                                                                                                                                                                       | 2  | 3   |
| <i>A. V. Klimov, B. V. Proshkin</i><br>Influence of the Evolution of River System of the Altai-Sayan Mountain Country<br>on Form Diversity of Laurel Poplar Modern Populations of <i>Populus laurifolia</i> Ledeb. ....                                                            | 1  | 49  |
| <i>V. O. Kornienko, V. N. Kalaev</i><br>Viability of Pedunculate Oak in the Conditions of the City of Donetsk .....                                                                                                                                                                | 4  | 95  |
| <i>D. M. Koryakina, N. A. Druzhinin, F. N. Druzhinin</i><br>Growth Features of Introduced Woody Species in Vologda Oblast .....                                                                                                                                                    | 6  | 78  |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| <i>V. L. Koshkarova, A. D. Koshkarov</i><br>Ecological and Cenotic Features of the Formation of Forest Ecosystems in the Middle Reaches<br>of the Kotuy River in the Context of Global Climate Change .....                                                                               | 5 | 57  |
| <i>A. P. Kovalev, A. Yu. Alekseenko, T. G. Kachanova</i><br>Silvicultural Principles of Choosing Methods of Logging Technologies in the Far Eastern Forests .....                                                                                                                         | 5 | 96  |
| <i>A. P. Kovalev, E. V. Lashina</i><br>Criteria for the Sustainability of Tree Stands During Timber Harvesting in Mature<br>and Overmature Stands .....                                                                                                                                   | 2 | 59  |
| <i>S. R. Kuzmin, N. A. Kuzmina</i><br>Proportion of Straight-Stemmed Trees of Scots Pine Climatypes in the Provenance Trial in Siberia .....                                                                                                                                              | 6 | 17  |
| <i>G. V. Kuznetsova</i><br>Vegetative and Seed Progeny of Rare Forms of the Siberian Pine in Krasnoyarsk Forest-Steppe .....                                                                                                                                                              | 4 | 3   |
| <i>A. V. Lebedev</i><br>Dynamic Model of Growth of Pine Tree Stands in the European Part of Russia According<br>to Repeated Observations .....                                                                                                                                            | 4 | 72  |
| <i>M. S. Lezin, V. A. Lezina</i><br>Naturalization as a Tool to Increase Adaptability in Future Varieties of Felt Cherries .....                                                                                                                                                          | 1 | 90  |
| <i>A. I. Lobanov, N. V. Kut'kina, M. A. Martynova, V. E. Mulyava, V. V. Mulyava</i><br>Viability and Silvicultural-Reclamation Assessment of Deciduous Forest Belts<br>in the Koibal Steppe of the Republic of Khakassia .....                                                            | 2 | 34  |
| <i>S. R. Loskutov, L. K. Kazaryan, E. A. Tyutkova</i><br>Infrared Fourier Spectroscopy of Biotic Damage to Scots Pine Needles .....                                                                                                                                                       | 6 | 25  |
| <i>S. O. Medvedeva, O. E. Cherepanova, E. G. Filippov, A. Yu. Teptina</i><br>Analysis of DNA Content and Nuclear Microsatellite Loci of Some <i>Betula</i> L. Representatives .....                                                                                                       | 6 | 44  |
| <i>A. I. Montile, S. A. Shavnin, A. A. Montile, D. Yu. Golikov</i><br>The Impact of Edge Effect on the Relationship of Individual Morphological Features<br>of Scots Pine in Natural Stands and Forest Park .....                                                                         | 1 | 67  |
| <i>B.-Ts. B. Namzalov, A. M. Samdan, L. V. Budazhapov, M. B.-Ts. Namzalov</i><br>Features of Spatial Structure and Cenogenesis of Relict Larch Forests in the Mountain Forest-Steppe<br>of Southern Siberia .....                                                                         | 1 | 3   |
| <i>A. A. Onuchin, V. E. Aryasov, A. M. Schemberg</i><br>Specificity of Increment of Young Pine Stands of Different Density in Krasnoyarsk<br>Forest-Steppe in the Context of Efficiency of Assimilation Apparatus .....                                                                   | 5 | 28  |
| <i>A. A. Onuchin, V. A. Sokolov, O. P. Vtyurina</i><br>Forest Reproduction in Krasnoyarsk Krai .....                                                                                                                                                                                      | 6 | 10  |
| <i>T. P. Orekhova</i><br>Reproduction of Korean Poplar <i>in vitro</i> .....                                                                                                                                                                                                              | 4 | 61  |
| <i>A. F. Osipov</i><br>Wood Litter Input to the Soil Surface of Middle Taiga Pine Forests in the European North-East<br>of Russia .....                                                                                                                                                   | 5 | 103 |
| <i>M. V. Oskorbina, O. V. Kalugina, L. V. Afanas'eva</i><br>Effect of Emissions from Aluminum Production on Photosynthetic Apparatus of Siberian Larch .....                                                                                                                              | 1 | 31  |
| <i>N. V. Pakharkova, I. V. Masentsova, I. G. Gette, E. E. Pozdnyakova, A. A. Kalabina</i><br>Photosynthetic Apparatus of Siberian Pine Needles During the Period of Emerging from the State<br>of Winter Dor-mancy in the Conditions of the High-Altitude Zone of the Western Sayan ..... | 2 | 41  |
| <i>D. A. Polosukhina, D. V. Trusov, S. V. Titov, A. S. Prokushkin</i><br>Fractional Composition of Phytomass and Photosynthetic Pigments of the Shrub Layer<br>Mixed Forest in the Middle Taiga Subzone .....                                                                             | 4 | 23  |
| <i>I. V. Predeina, K. A. Bashegurov, L. A. Belov, S. V. Zalesov, N. M. Iteshina</i><br>Alternate Strip Gradual Felling, as a Method of Transforming Derivative Softwood Stands<br>into Indigenous Coniferous .....                                                                        | 6 | 59  |
| <i>M. V. Rogozin</i><br>The Influence of Feeding Areas on the Fall of Trees in Pine Crops .....                                                                                                                                                                                           | 1 | 57  |
| <i>S. A. Sheremetova, E. B. Rot'kina, M. S. Rakina, S. N. Vityaz'</i><br>Dendroflora of Kuzbass .....                                                                                                                                                                                     | 6 | 31  |

|                                                                                                                                                                                                                                          |   |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| <i>A. S. Shishikin, R. T. Murzakmatov, I. I. Bryukhanov</i><br>Restoration of Drying Mountain Siberian Stone Pine Forests in Southern Siberia .....                                                                                      | 5 | 70  |
| <i>A. A. Shishkina, N. N. Karpun</i><br>Condition and Fungal Diseases of Scots Pine Provenance Trials .....                                                                                                                              | 5 | 112 |
| <i>N. A. Timchenko, K. G. Tkachenko, N. A. Yust, O. N. Shcherbakova</i><br>Post-Pyrogenic Regeneration of Gmelins' Larch in Amur Oblast .....                                                                                            | 6 | 68  |
| <i>E. E. Timoshok, E. N. Timoshok, I. I. Gureeva</i><br>Composition, Structure and Ecological Features of High-Mountain Old-Growth<br>Siberian Stone Pine Forests of the North Chuya Range .....                                         | 4 | 11  |
| <i>O. V. Tolkach, G. G. Terekhov, N. N. Terinov</i><br>Density of Snow Under the Canopy of Artificial Spruce Stands in the Middle Urals .....                                                                                            | 1 | 78  |
| <i>E. F. Tropina, A. A. Knorre, M. G. Erunova, M. K. Tselikhin</i><br>Variability of Snow Cover Moisture Reserve in the Foothills of the Eastern Sayan<br>with the Background of Climate Shifts .....                                    | 4 | 48  |
| <i>O. L. Tsandekova</i><br>Features of Litter Formation in Forest Phytocoenoses with Ash Maple .....                                                                                                                                     | 5 | 89  |
| <i>I. S. Tsepordey</i><br>An Increase of the Foliage Share in Shoot Phytomass Along the Latitudinal Gradient<br>as a Compensatory Reaction of Scots pine to a Decrease in the Sum of Effective Temperatures .....                        | 2 | 68  |
| <i>I. S. Tsepordey, V. A. Usoltsev, D. V. Noritsin</i><br>The Conjugacy of Climatic Indicators in the Latitudinal Gradient of Eurasia<br>When Modeling Biomass of Forest-Forming Species .....                                           | 1 | 40  |
| <i>V. A. Usoltsev</i><br>Dependence of Annual Stem Increment on Inventory and Bioproduction Indicators<br>of Trees in Pine Forests of the Turgai Depression .....                                                                        | 6 | 52  |
| <i>S. O. Vyukhin, A. A. Grigoriev, D. S. Balakin, A. S. Timofeev, P. A. Moiseev</i><br>Structure and Dynamics of Cenopopulations of Shrub Alder in Forest – Mountain Tundra Ecotone<br>in the Western Part of the Putorana Plateau ..... | 4 | 38  |
| <i>L. V. Zarubina, S. S. Makarov, I. B. Kuznetsova</i><br>The Influence of Structural Differentiation of Trees and Selective Logging<br>on Physiological Processes of Scots Pine .....                                                   | 4 | 84  |

## SUMMARIZING ARTICLES

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| <i>A. G. Dyukarev, S. G. Kopysov, S. A. Krivets, E. N. Pats, N. A. Chernova</i><br>An Experience and First Results of Complex Biogeocenological Studies in Dark Coniferous Forests<br>in the South of the Taiga Zone of Western Siberia .....                                                                          | 3 | 11 |
| <i>A. V. Panov, A. V. Makhnykina, A. V. Urban, V. I. Zyryanov, D. A. Polosukhina,</i><br><i>E. A. Kukavskaya, V. E. Aryasov, R. A. Kolosov, I. R. Putilin, P. D. Tretyakov,</i><br><i>D. A. Trusov, R. T. Sadykov, A. S. Prokushkin</i><br>Carbon Flows in the Ecosystems of the Middle Taiga of Central Siberia ..... | 3 | 37 |
| <i>I. A. Utkina, V. V. Rubtsov</i><br>Tellerman Experimental Forestry of the Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences:<br>80 Year Polygon of Stationary Biocenotic Studies .....                                                                                                                       | 3 | 25 |

## EXPERIMENTAL ARTICLES

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| <i>I. N. Bezkorovaynaya, O. M. Shabalina, L. S. Shugaley</i><br>The Main Components of Artificial Forest Biogeocenoses of a Multi-Year Experiment .....                                                                                                                            | 3 | 83  |
| <i>S. N. Goroshkevich, E. A. Zhuk, O. G. Bender</i><br>The Study of the Geographical Differentiation of Siberian Stone Pine .....                                                                                                                                                  | 3 | 54  |
| <i>V. V. Ivanov, A. N. Borisov</i><br>Carbon Deposition by Pine Stands of the Krasnoyarsk Forest Steppe During Care Logging .....                                                                                                                                                  | 3 | 103 |
| <i>A. S. Prokushkin, T. N. Geis, R. A. Kolosov, M. A. Korets, A. V. Panov, D. A. Polosukhina,</i><br><i>M. P. Prokushkina, S. V. Titov, I. V. Tokareva, N. V. Sidenko, Yu. V. Shamonina, S. G. Prokushkin</i><br>Lateral Carbon Flux in the Cryolithozone of Central Siberia ..... | 3 | 67  |

*M. I. Sedaeva*

|                                                                                                                                                                |   |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| Lime Tree in the Arboretum of V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch,<br>Russian Academy of Sciences Experimental Station «Pogorelskiy Bor» ..... | 3 | 96  |
| <i>V. G. Soukhovolsky, O. V. Tarasova</i>                                                                                                                      |   |     |
| Long-Term Dynamics of Forest Insect Populations in Krasnoturanskiy Pine Forest .....                                                                           | 3 | 110 |

## 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'<br>and Tom' Rivers. Communication I: Methodological Substantiation and Forest Growing Conditions ..... | 5 | 3  |
| <i>S. P. Efremov, T. T. Efremova, A. V. Pimenov, T. S. Sedel'nikova</i>                                                                                                                           |   |    |
| Structure of the Annual Ring Pool in Communities of Swamp and Dry Pine Forests Between Ob'<br>and Tom' Rivers. Communication II: Experimental and Analytical Aspects .....                        | 5 | 13 |

## LETTERS TO THE EDITOR

*Yu. N. Baranchikov*

|                                                                                                                               |   |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| Authors at Both Sides of the List .....                                                                                       | 3 | 7 |
| <i>I. A. Kerchev, N. I. Kirichenko, Yu. N. Baranchikov</i>                                                                    |   |   |
| The Pheromone of Invasive Populations of Bark Beetle <i>Ips amitinus</i> (Eichhoff)<br>in Russia has not Been Found Yet ..... | 6 | 3 |

## FOREWORD FROM THE SCIENTIFIC EDITOR

*Yu. N. Baranchikov*

|                                                                                                          |   |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| Foreword From the Scientific Editor for Thematic Issue of the «Siberian Journal of Forest Science» ..... | 3 | 3 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|

## REVIEW

*V. I. Ponomarev*

|                                        |   |     |
|----------------------------------------|---|-----|
| Re-Creation of a Scientific Feat ..... | 3 | 123 |
|----------------------------------------|---|-----|

## \* JUBILEE

*\* P. A. Tsvetkov, D. I. Nazimova, I. N. Tret'yakova*

|                                                          |   |
|----------------------------------------------------------|---|
| Alexandra Vital'evna Volokitina (to 75th Birthday) ..... | 1 |
|----------------------------------------------------------|---|

## \* IN MEMORIAM

*\* Mikhail Vladimirovich Rogozin (22.10.1950 – 29.05.2024) .....*

*\* O. V. Tarasova, V. V. Soldatov, A. V. Kovalev, V. G. Sukhovolsky*

|                                                            |   |
|------------------------------------------------------------|---|
| Elena Nikolaevna Palnikova (12.03.1954 – 26.11.2018) ..... | 3 |
|------------------------------------------------------------|---|

|                                                  |          |            |
|--------------------------------------------------|----------|------------|
| <b>AUTHORS' AND ARTICLES' INDEX (2024) .....</b> | <b>6</b> | <b>117</b> |
|--------------------------------------------------|----------|------------|

## \* EXPERTS AND REVIEWERS (2024)

\* Article is published in online edition.

## CONTENTS

### LETTERS TO THE EDITOR

- I. A. Kerchev, N. I. Kirichenko, Yu. N. Baranchikov*  
The Pheromone of Invasive Populations of Bark Beetle *Ips amitinus* (Eichhoff)  
in Russia has not Been Found Yet ..... 3

### RESEARCH ARTICLES

- A. A. Onuchin, V. A. Sokolov, O. P. Vtyurina*  
Forest Reproduction in Krasnoyarsk Krai ..... 10
- S. R. Kuzmin, N. A. Kuzmina*  
Proportion of Straight-Stemmed Trees of Scots Pine Climatypes in the Provenance Trial in Siberia ..... 17
- S. R. Loskutov, L. K. Kazaryan, E. A. Tyutkova*  
Infrared Fourier Spectroscopy of Biotic Damage to Scots Pine Needles ..... 25
- S. A. Sheremetova, E. B. Rot'kina, M. S. Rakina, S. N. Vityaz'*  
Dendroflora of Kuzbass ..... 31
- S. O. Medvedeva, O. E. Cherepanova, E. G. Filippov, A. Yu. Teptina*  
Analysis of DNA Content and Nuclear Microsatellite Loci of Some *Betula* L. Representatives ..... 44
- V. A. Usoltsev*  
Dependence of Annual Stem Increment on Inventory and Bioproduction Indicators  
of Trees in Pine Forests of the Turgai Depression ..... 52
- I. V. Predeina, K. A. Bashegurov, L. A. Belov, S. V. Zalesov, N. M. Iteshina*  
Alternate Strip Gradual Felling, as a Method of Transforming Derivative Softwood Stands  
into Indigenous Coniferous ..... 59
- N. A. Timchenko, K. G. Tkachenko, N. A. Yust, O. N. Shcherbakova*  
Post-Pyrogenic Regeneration of Gmelins' Larch in Amur Oblast ..... 68
- D. M. Koryakina, N. A. Druzhinin, F. N. Druzhinin*  
Growth Features of Introduced Woody Species in Vologda Oblast ..... 78
- S. N. Dolmatov, P. G. Kolesnikov, A. I. Perezhilin*  
Development of Low-Quality Damaged Wood and Wood Waste in Krasnoyarsk Krai ..... 88
- I. M. Enaleeva-Bandura, A. N. Baranov, S. A. Brovkin, I. V. Grigoriev, R. N. Kovalev*  
Towards Assessing the Efficiency of Managing the Commercial Timber Supply System ..... 101
- AUTHORS' AND ARTICLES' INDEX (2024) ..... 117**

### \* EXPERTS AND REVIEWERS (2024)

---

\* Article is published in online edition.



## СОДЕРЖАНИЕ

### ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

- И. А. Керчев, Н. И. Кириченко, Ю. Н. Баранчиков*  
Феромон инвазийных популяций короеда *Ips amitinus* (Eichhoff) в России пока не найден ..... 3

### ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

- А. А. Онучин, В. А. Соколов, О. П. Втюрина*  
О воспроизводстве лесов в Красноярском крае ..... 10
- С. Р. Кузьмин, Н. А. Кузьмина*  
Доля прямоствольных деревьев у климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Сибири ..... 17
- С. Р. Лоскутов, Л. К. Казарян, Е. А. Тютюкова*  
Инфракрасная Фурье-спектроскопия биотического повреждения хвои сосны обыкновенной ..... 25
- С. А. Шереметова, Е. Б. Роткина, М. С. Ракина, С. Н. Витязь*  
Дендрофлора Кузбасса ..... 31
- С. О. Медведева, О. Е. Черепанова, Е. Г. Филиппов, А. Ю. Тептина*  
Использование проточной цитометрии и микросателлитного анализа для определения плоидности некоторых образцов *Betula L.* ..... 44
- В. А. Усольцев*  
Зависимость годичного прироста ствола от таксационных и биопродукционных показателей деревьев в сосняках Тургайского прогиба ..... 52
- И. В. Предеина, К. А. Башегуров, Л. А. Белов, С. В. Залесов, Н. М. Итешина*  
Чересполосная постепенная рубка как способ перестроения производных мягколиственных насаждений в коренные хвойные ..... 59
- Н. А. Тимченко, К. Г. Ткаченко, Н. А. Юст, О. Н. Щербакова*  
Постпирогенное восстановление лиственницы Гмелина в Амурской области ..... 68
- Д. М. Корякина, Н. А. Дружинин, Ф. Н. Дружинин*  
Особенности роста древесных видов-интродуцентов в Вологодской области ..... 78
- С. Н. Долматов, П. Г. Колесников, А. И. Пережилин*  
Освоение низкокачественной поврежденной древесины и древесных отходов в Красноярском крае ..... 88
- И. М. Еналеева-Бандура, А. Н. Баранов, С. А. Бровкин, И. В. Григорьев, Р. Н. Ковалев*  
К оценке эффективности управления системой поставок товарной древесины ..... 101
- УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2024) ..... 113**

### \* ЭКСПЕРТЫ И РЕЦЕНЗЕНТЫ (2024)

---

\* Статья публикуется в сетевом издании.