

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

ISSN 2311-1410

# Сибирский лесной журнал

Номер 2  
Март–Апрель 2024



Издательство СО РАН  
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 2 March–April 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. Kirdeyanov (RF), Natal'ya I. Kirichenko (RF), Alexander P. Kovalev (RF), Yuri N. Krasnoshchekov (RF), Konstantin V. Krutovsky (RF, Germany), Alexander M. Kryshen (RF), Konstantin N. Kulik (RF), Andrei N. Kupriyanov (RF), Qinglin Li (Canada), Sune Linder (Sweden), Sergei R. Loskutov (RF), Tatyana A. Moskalyuk (RF), Elena N. Muratova (RF), Sergei V. Osipov (RF), Igor N. Pavlov (RF), Heli Peltola (Finland), Viliam Pichler (Slovakia), Alexander V. Pimenov (RF), Anatoly S. Prokushkin (RF), Olga A. Shapchenkova (RF), Dmitriy G. Schepaschenko (RF, Austria), Christiane Schmuilius (Germany), Olga V. Shergina (RF), Alexander S. Shishikin (RF), Svetlana D. Shlotgauer (RF), Anatoly Z. Shvidenko (RF, Austria), Vladimir A. Sokolov (RF), Vladimir V. Soldatov (RF), Vladislav G. Soukhovolsky (RF), Ge Sun (USA), Vyacheslav V. Tarakanov (RF), Alexander N. Tashev (Bulgaria), Elena E. Timoshok (RF), Josef Urban (Czechia), Vladimir V. Usenya (Belarus), Vladimir A. Usoltsev (RF), Eugene A. Vaganov (RF), Viktor I. Voronin (RF), Chuankuan Wang (China), Adam X. Wei (Canada), Yulay A. Yanbaev (RF), Vasily T. Yarmishko (RF)

**Leading Editor**

Tatyana A. Nikitina

**Scientific Editor**

Kseniya A. Kryukova

**Technical Editor**

Tatyana R. Pantyukhina

*Address for journal office:*

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

Novosibirsk

Siberian Branch of the Russian Academy of Science

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

## СИБИРСКИЙ ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

№ 2 2024 Март–Апрель

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. Вей (Канада),  
В. И. Воронин (РФ), С. Н. Горошкевич (РФ), И. Д. Гродницкая (РФ), А. Н. Громцев (РФ), Г. Гуггенбергер (Германия),  
И. М. Данилин (*зам. главного редактора*, РФ), Ч. Доржсурэн (Монголия), Ч. Дугаржав (Монголия), А. А. Дымов (РФ),  
С. Ю. Евграфова (РФ), Г. А. Иванова (РФ), А. П. Исаев (РФ), В. Н. Калаев (РФ), О. В. Калугина (РФ), А. В. Кирдянов (РФ),  
Н. И. Кириченко (РФ), А. П. Ковалев (РФ), Ю. Н. Краснощеков (РФ), К. В. Крутовский (РФ, Германия), А. М. Крышень (РФ),  
К. А. Крюкова (*научный редактор*, РФ), К. Н. Кулик (РФ), А. Н. Куприянов (РФ), Ж. Ли (Канада), С. Линдер (Швеция),  
С. Р. Лоскутов (РФ), Т. А. Москалюк (РФ), Е. Н. Муратова (РФ), С. В. Осипов (РФ), Т. А. Никитина (*ведущий редактор*, РФ),  
И. Н. Павлов (РФ), Х. Пелтола (Финляндия), А. В. Пименов (РФ), В. Пихлер (Словакия), А. С. Прокушкин (РФ),  
Т. С. Седельникова (*зам. главного редактора*, РФ), Л. Н. Скрипальщикова (*отв. секретарь*, РФ), В. А. Соколов (РФ),  
В. В. Солдатов (РФ), Г. Сун (США), В. Г. Суховольский (РФ), В. В. Тараканов (РФ), А. Н. Ташев (Болгария),  
Е. Е. Тимошок (РФ), Й. Урбан (Чехия), В. В. Усень (Беларусь), В. А. Усольцев (РФ), В. И. Харук (РФ), Д. Чен (США),  
Т. Н. Чимитдоржиев (РФ), О. А. Шапченко (РФ), А. З. Швиденко (РФ, Австрия), О. В. Шергина (РФ),  
А. С. Шишкин (РФ), С. Д. Шлотгауэр (РФ), К. Шмуллиус (Германия), Д. Г. Щепашенко (РФ, Австрия),  
С. Юбанкс (США), Ю. А. Янбаев (РФ), В. Т. Ярмишко (РФ)

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

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

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

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



### Основная тематика журнала:

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

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

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

«Сибирский лесной журнал» включен в российскую систему научного цитирования eLibrary.ru (РИНЦ), международные реферативные базы данных: Ulrichweb: Global Serials Directory, Directory of Open Access Journals (DOAJ), AGRIS, CABI Forest Science Database, Перечень периодических научных изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ (категория K1), готовится к включению в международные реферативные базы данных научной периодики и цитирования: Springer, Scopus, Web of Science. Полнотекстовые статьи размещаются на сайте журнала в сети: сибирскийлеснойжурнал.рф, sibjforsci.com.

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

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

Ведущий редактор Т. А. Никитина

Научный редактор К. А. Крюкова

Дизайн обложки С. Р. Лоскутов

Техническое редактирование и верстка Т. Р. Пантюхина

---

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

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

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

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Федеральный исследовательский центр

«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

---

Сдано в набор 25.03.2024. Выход в свет 30.04.2024. Бумага типографская. Формат 60 × 84 1/8

Усл. печ. л. 13.0. Уч.-изд. л. 10.9. Тираж 100 экз. Заказ № 71. Цена свободная.

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

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

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

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

УДК 571.51+551.481.2

### МЕРЗЛОТНО-БУГРИСТЫЕ БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

Л. В. Карпенко

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

E-mail: karp@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 19.07.2023 г.

Изложены результаты исследования двух мерзлотно-бугристых болотных комплексов, расположенных в долине р. Черная, правобережного притока р. Енисей (окрестности г. Игарка). В их числе крупно- и плоскобугристый торфяники разного возраста, генезиса и стадий развития. Охарактеризован современный растительный покров комплексов, дано детальное морфоструктурное описание торфяных профилей, выполнен ботанический анализ и определены степени разложения, зольности и влажности торфа. Мощность залежи крупнобугристого торфяника 4.0 м, примерный возраст – 8 тыс. лет назад. В процессе своего формирования он претерпел шесть стадий смен, из которых первой была лесная. Торфяная залежь отнесена к лесотопяному и топяному подтипам. Основными торфообразователями снизу вверх по профилю последовательно были евтрофные гипновые мхи (*Hypnales* W. R. Buck et Vitt), осоки (*Carex* L.), хвощи (*Equisetum* L.) и олиготрофные сфагновые мхи (*Sphagnopsida* Ochyra). Плоскобугристый торфяник мощностью 1.3 м и возрастом около 3 тыс. лет в своем развитии прошел две стадии смен растительности, из которых первая – лесная. По всей его глубине зафиксированы льдистые прослойки. Смены растительного покрова бугристых торфяников происходили как в результате прямого воздействия изменения регионального климата в голоцене, так и косвенного – по причине появления постоянной многолетней мерзлоты в торфяниках, пучения бугров и последующего их протаивания. Появление пятен обнаженного торфа и формирование мощного лишайникового покрова на дневной поверхности крупнобугристого торфяника свидетельствуют о существенном замедлении процесса торфообразования. Плоскобугристые торфяники района исследований находятся в состоянии частичной деградации и активизации процесса торфонакопления.

**Ключевые слова:** бугры пучения, макроморфологическое строение, стратиграфия, растения-торфообразователи, виды торфа, голоцен, реконструкция, стадии.

DOI: 10.15372/SJFS20240201

#### ВВЕДЕНИЕ

Бугристые торфяники – уникальные образования северной тайги, лесотундры и тундры Красноярского края. Они образуют достаточно обширную болотную зону (примерно 61–69° с. ш.) и широко распространены в Норило-Пясинском озерно-болотном бассейне (окрестности оз. Лама, рек Норильская, Рыбная, Большой Авам и др.), а также южнее – в долине р. Хантайки, на междуречье Подкаменной и Нижней Тунгусок, в окрестностях Дудинки и Игарки. Плоско- и крупнобугристые торфяники

криолитозоны Средней Сибири начали изучать еще в 30-х годах прошлого столетия (Шумилова, 1931; Кузнецов, 1932; и др.). Позже их исследованием занимались С. П. Ефремов, Н. И. Пьявченко (1964), Н. С. Шевелева, Л. С. Хомичевская (1967), Ж. М. Белорусова с соавт. (1987), Т. Н. Мельниченко (2004) и др.

О буграх пучения в долине р. Хантайка и окрестностях г. Игарка ранее сообщали В. И. Орлов (1962), Г. С. Константинова (1963), Н. С. Шевелева, Л. С. Хомичевская (1967), В. Л. Кошкарова с соавт. (1975), Ю. И. Прейс (2004), Е. Ю. Новенко с соавт. (2021). Авторы

отмечали, что образованию и длительному сохранению мерзлоты в подзонах лесотундры и северной тайги способствуют такие природные факторы, как низкие среднегодовые температуры, большая продолжительность зимнего периода, малая мощность снежного покрова, короткое и прохладное лето и др. Здесь широко распространено такое явление, как пучение грунтов, интенсивность которого определяется количеством влаги, мигрировавшей в зону промерзания, и скоростью промерзания. Многолетняя мерзлота формирует криогенные формы рельефа, к которым относятся торфяные бугры пучения – крупно- и плоскобугристые разности (Мельниченко, 2004; Васильчук и др., 2013). Согласно Н. И. Пьявченко (1955), возникновение бугристых торфяников связано с колебаниями климата голоцена, «которые в его начале способствовали торфонакоплению при отсутствии вечной мерзлоты, затем вызвали ее образование, далее обусловили развитие водно-эрозионных процессов, приведших к изменениям в прежнем рельефе, и в последнее время вызывают деградацию мерзлоты и отступление ее границы к северу» (с. 210). Общими признаками для поверхности этих бугров являются сухость почвы, морозобойная трещиноватость и дефляция, бедная в видовом отношении растительность, представленная в основном мохово-лишайниковыми видами. Мощность торфа в буграх пучения варьирует от 2.0 до 8.0 м. Под торфом находится мерзлое минеральное основание, образованное суглинками или супесями. В профиле плоскобугристого торфяника неоднократно встречены линзы льда.

Несмотря на то что исследования бугристых торфяников на севере Приенисейской Сибири начались давно, их изученность все еще остается слабой. Цель наших исследований – комплексное изучение современного растительного покрова и морфоструктурного строения двух мерзлотно-бугристых болотных комплексов, расположенных на второй надпойменной террасе р. Черная (окрестности г. Игарка), находящихся на разных стадиях развития. Задачами работы были детальное описание растительности болотных комплексов и макроморфологического строения профиля мерзлых бугров пучения; выявление методом ботанического анализа торфа стратиграфии и основных растений-торфообразователей мерзлых торфяников; определение некоторых физико-химических свойств торфа; реконструкция генезиса и стадий их развития.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований расположен в 9 км на юго-восток от г. Игарка и находится в низовьях р. Черная – правобережного притока р. Енисей. Географические координаты – 67°24' с. ш., 86°45' в. д. В геоморфологическом отношении он представляет собой плосковолнистую аккумулятивную равнину водно-ледникового генезиса, подверженную устойчивой отрицательной неотектонике (Калашников, 1994). Слабопокатая поверхность равнины в целом ориентирована к юго-западу от южной оконечности Хантайского водохранилища к р. Енисей. Многолетняя мерзлота залегает на глубине менее 0.5 м, поэтому здесь широко развит почвенный криогенез. Внешне он проявляется в характерных бугристых микро- и наноформах рельефа, которые представлены как на болотах, так и на суходолах.

Почвообразующими породами являются суглинки и глины, что в сочетании с малыми уклонами (0–1°) затрудняет дренирование поверхности и способствует широкому развитию заболачивания. В ботанико-географическом отношении участок исследования расположен на контакте подзон северной тайги и лесотундры. Основные компоненты ландшафта – тундры, леса, болота и озера, представленные в различных сочетаниях. Главные лесообразователи – лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) и ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), в примеси – сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour). Как сопутствующая порода широко распространена береза повислая (*Betula pendula* Roth). Сырые плосковогнутые тыловые участки речных террас с уклонами менее 1° заняты мерзлотно-бугристыми болотными комплексами и лесными рединами (зачастую также мерзлотно-бугристыми) (рис. 1).

Площадь болот на территории района исследований местами достигает 30 %. Объектами исследований были два типа мерзлотно-бугристых болотных комплексов, расположенных в сходных топографических условиях на второй надпойменной террасе р. Черная. Первый тип описан нами в ее правобережной части и состоит из крупнобугристого торфяника, который образует берег озера с его восточной стороны, из мокрых западин и микроложбин между буграми и термокарстового озера с открытой водной поверхностью. Второй тип – на левобережной



Рис. 1. Мерзлотно-бугристые болотные комплексы в долине р. Черная.

части террасы, который представлен молодым плоскобугристым болотным комплексом, состоящим из мерзлых плоских бугров с небольшой мощностью торфа, микроложбин между ними и термокарстовых микрозападин со вторичными озерками.

Древний бугор пучения в составе первого типа мерзлотно-бугристого комплекса возвышается над зеркалом водной поверхности озера на 4 м.

Разрез торфа был заложен в стенке берегового обнажения путем ее зачистки лопатой и ножом вглубь на 20 см с целью исключения загрязнения извлекаемого образца деградированным торфом, сползающим кусками с вершины бугра. Проведены макроморфологическое описание его профиля, затем – отбор образцов торфа на ботанический анализ, зольность и влажность. Интервал отбора был разным в зависимости от морфологических признаков торфяного пласта (цвета, плотности сложения, пористости, влажности и т. д.).

Мощность торфяной залежи в плоских буграх (второй тип мерзлотно-бугристого комплекса) варьирует от 1.0 до 2.5 м. В одном из таких бугров, окружающих сплошным кольцом небольшое термокарстовое озерко, заросшее славвиной, путем зачистки лопатой стенки берега были взяты образцы торфа с интервалом 0.25 м, кроме этого ручным буром системы Гиллера – образцы торфа из заросшего славвиной термокарстового озера с глубин 0.25, 0.5, 2.25 и 2.5 м.

В интервале колонки 0.5–2.0 м находится прослойка воды мощностью 1.5 м. Всего для анализов отобрано 35 образцов торфа.

Определение ботанического состава и физико-химических свойств торфа выполнено в соответствии с методиками, применяемыми в болотоведении. Для идентификации сфагновых и гипновых мхов, а также растительных остатков, образующих волокно торфа, применялись определители мхов и атласы растительных остатков, встречаемых в торфе (Домбровская и др., 1959; Кац и др., 1977). Латинские названия высших сосудистых растений даны по сводке С. К. Черепанова (1995), классификация видов торфа и видов строения торфяных залежей – по «Классификации растительного покрова и видов торфа...» (1975).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Растительный покров мерзлотно-бугристых болотных комплексов.** Крупнобугристый мерзлотно-болотный комплекс охарактеризован на правобережной части надпойменной террасы р. Черная). Микрорельеф представлен крупными мерзлыми буграми высотой до 2.5–3.0 м, которые чередуются с мокрыми межбугровыми западинами, микроложбинами и термокарстовыми озерами. Мощность торфяной залежи бугристых торфяников, зафиксированная на бе-



**Рис. 2.** Общий вид берегового обнажения крупнобугристого торфяника на восточной стороне термокарстового озера.

реговых обнажениях озер, составляет от 0.5 до 4.0 м (рис. 2).

Поверхность бугров покрыта морозобойными трещинами, вследствие чего проявляется резко дифференцированный нанорельеф. По вершинам положительных элементов микрорельефа рассеяны пятна обнаженного деградированного торфа, на долю которых приходится до 5 % площади. Растительность в целом носит тундровый облик и представлена травяно-кустарничковыми и мохово-лишайниковыми группировками.

Покрытие бугров пучения травяно-кустарничковым ярусом составляет 85 %. Доминируют береза карликовая (*Betula nana* L.) с покрытием 50–60 %, багульник болотный (*Ledum palustre* L.) – 35 % и кассандра болотная (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench) – 30 %. Менее обильно представлены шикша черная (*Empetrum nigrum* L.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.). Мохово-лишайниковый ярус имеет 95 % покрытия и сложен содоминирующими зелеными лесными мхами: плевроциумом Шребера (*Pleurozium schreberi* Brid. Mitt.), политрихом сжатым (*Polytrichum strictum* Brid.) и кустистыми лишайниками: кладонией звездчатой

(*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda), к. оленьей (*C. rangiferina* (L.) F. H. Wigg.), к. темномясной (*C. amaurocraea* (Flörke) Schaer.), к. мрачной (*C. stygia* (Fr.) Ruoss), цетрарией исландской (*Cetraria islandica* (L.) Ach.), флавоцетрарией клубочковой (*Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt et A. Thell syn. *Cetraria cucullata* (Bellardi) Ach.). В примеси к ним встречается олиготрофный мох – сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr.).

Термокарстовые микроложбины, разделяющие мерзлые бугры, значительно увлажнены. Верхний ярус растительности формирует карликовая береза, достигающая высоты 0.7 м. Под ее несомкнутым пологом обильны кустарнички – черника (*Vaccinium myrtillus* L.), шикша черная, а также осоки вздутая (*Carex rostrata* Stokes) и топяная (*C. limosa* L.), пушица рыжеватая (*Eriophorum russeolum* Fries.), морощка (*Rubus chamaemorus* L.) В моховом ярусе доминируют сфагнум красноватый (*Sphagnum rubellum* Wils.), с. Линдберга (*Sph. lindbergii* Schimp.) и с. береговой (*Sph. riparium* Aongstr.), реже отмечены с. узколистный (*Sph. angustifolium* (Russ.) C. Jens.) и с. балтийский (*Sph. balticum* (Russ.) C. Jens.). В примеси – зеленые мхи: плевроциум Шребера и политрихум сжатый.

Мокрые термокарстовые микрозападины между буграми представляют собой очаги возобновления торфонакопления, которое протекает по низинному или переходному типам. Кустарничковый ярус образуют карликовая береза и багульник болотный. Моховой покров сложен сфагнумом оттопоренным (*Sph. squarrosum* Crome.), с. Гиргензона (*Sph. girgensohnii* Russ.), с. гладким (*Sph. teres* Aongstr.) и зелеными мхами родов дрепанокладус (*Drepanocladus* (Müll. Hal.) G. Roth), каллиэргон (*Calliergon* (Sull.) Kindb.) и аулакомний (*Aulacomnium* Schwägr.) с примесью кустистых лишайников.

Термокарстовое озеро с открытой водной поверхностью, восточный берег которого образован мерзлым торфяным бугром, занимает площадь примерно 200 × 150 м. Периферийный участок озера оконтуривает зыбкая вахтово-пушицево-зеленомошная сплавина (рис. 3).

Доминантом растительности в сплавине является вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), которая своими переплетенными корневищами создает физический субстрат для поселения других видов болотной растительности (кустарничков, осок, пушицы, гипновых и сфагновых мхов и др.) и способствует дальнейшему разрастанию сплавины.



**Рис. 3.** Вахтово-пушицево-зеленомошная сплавина термокарстового озера на правобережной террасе р. Черная.



**Рис. 4.** Плоские бугры пучения, окружающие заросшее термокарстовое озеро на левой надпойменной террасе р. Черная.

На левобережной части второй надпойменной террасы р. Черная преобладают более молодые по возрасту плоскобугристые болотные комплексы, состоящие из обсохших и растрескавшихся уплотненных бугров, сухих микрозападин между ними и обводненных термокарстовых микроочагин со вторичными озерами,

поверхность которых покрыта мощной сплавинной (рис. 4).

Превышение криогенных бугров над уровнем микрозападин составляет 2.0–2.5 м. Их протяженность варьирует от 50 до 150 м в длину и от 3.0 до 50.0 м в поперечнике. По краям бугров наблюдаются оползни и обвалы торфа. Поло-

жительные микроформы поверхности комплекса – уплощенные мерзлые бугры, неравномерно поросли кустарником в составе ивы филиколистной (*Salix phylicifolia* L.) – 10 % покрытия и березы тощей (*Betula exilis* Sukacz.) – 25 %.

Нижние ярусы растительности представлены кустарничково-мохово-лишайниковой группировкой. Характерные представители – багульник болотный высотой 40–50 см с покрытием 65 %, морошка – 25 %, шикша черная – 10 %, голубика – 20–25 %, осока шаровидная (*Carex globularis* L.) – 20 %, клюква мелкоплодная (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr.) – 25 %. Реже встречается вейник лапландский (*Calamagrostis lapponica* (Wahlenb.) C. Hartm.). Моховой покров на 95 % образован сфагнумом бурый. В примеси отмечены сфагнум красноватый и плевроциум Шребера.

Растительность межбугровых западин представлена брусникой (25 % проективного покрытия) и лишайниковой группировкой в составе кладонии звездчатой (85 %) и к. мрачной (15 %), флавоцетрарией клубучковой, цетрарией исландской – менее 5 %. Изредка встречается кладония темно-мясная.

Обводненные термокарстовые микроочажины (в среднем 1.5 × 1.0 м) заняты пушицево-травяно-сфагнуовой группировкой растительности, в которой высота травяного яруса составляет 25–35 см. Она образована осокой вздутой – 7 % покрытия, пушицами рыжеватой и средней (*Eriophorum medium* (Trin.) Anders.) – 2.5–3.0 %, пухоносом альпийским (*Baethryon alpinum* (L.) T. V. Egorova) – 10 %. Изредка встречается осока пузырчатая (*Carex vesicaria* L.). Моховой покров сложен сфагнумами узколиственным (90 % покрытия), в примеси – береговым и балтийским (менее 10 % покрытия).

Термокарстовые озера, как правило, заросшие плотной сплавиной из пушицы рыжеватой и гидрофильных сфагновых и гипновых (*Hypnales* W. R. Buck et Vitt) мхов, представляют собой очаги возобновления торфонакопления, которое протекает частично по низинному, частично по переходному типам. Борты озер местами завалены оттаявшим и обрушившимся со склонов мерзлых бугров торфом. По профилю сплавины в направлении от окраины озера к центру прослеживается экологический ряд микрогруппировок: кустарничково-сфагновая – осоково-гипновая – пушицево-сфагновая, индицирующий последовательные стадии развития болотообразовательного процесса.

**Морфологическое строение бугров пучения.** Залежь берегового обнажения крупнобугристого торфяника имеет следующее морфологическое строение.

- |             |   |
|-------------|---|
| 0–3 см.     | Дернина кустарничково-мохово-лишайниковая, сухая.   |
| 3–27 см.    | Торф рыжего цвета, видны остатки веточек и корней кустарничков, свежий, степень разложения – 10 %.  |
| 27–36 см.   | Торф буровато-коричневый, заметны остатки древовидной березы, веточки и корни кустарничков, сильнослоистый, плотный, влажный, степень разложения 10–15 %.                   |
| 36–44 см.   | Торф рыжего цвета, видны остатки карликовой березы и сфагновых мхов, слоистый, менее плотный, чем предыдущий, влажный, степень разложения около 15 %.                       |
| 44–55 см.   | Торф темно-коричневый, остатки сфагнума и корешков кустарничков, слабовлажный, степень разложения – 15–20 %.  |
| 55–65 см.   | Торф темно-коричневый, обилие мелких и средних древесных остатков (березы), суше предыдущего, сильно крошится, степень разложения ~ 20 %.                                   |
| 65–75 см.   | Торф коричневого цвета, видна хорошо разложившаяся кора березы, слабослоистый, влажнее предыдущего, степень разложения ~ 25 %.  |
| 75–80 см.   | Торф темно-коричневого цвета, обилие мелких и средних древесных остатков, влажный, степень разложения ~ 25–30 %.  |
| 80–100 см.  | Торф черного цвета, сильно гумифицирован, растительные остатки трудноразличимы, обилие крупных кусков древесины лиственницы, влажный, рыхлый, степень разложения ~ 30–35 %. |
| 100–130 см. | Торф коричневого цвета, обилие пленок хвоща, остатки гипновых мхов, сильно спрессован, листоватый, влажный, степень разложения ~ 30–35 %.                                   |
| 130–150 см. | То же   |
| 150–170 см. | Торф темно-коричневый, обилие пленок хвоща, слабослоистый, сырой, среднеплотный, степень разложения ~ 30–35 %.  |
| 170–200 см. | Торф темно-коричневый, почти черный, видна кора древовидной березы и гипновых мхов, влажный, слаболистоватый, степень разложения ~ 40 %.                                    |
| 200–225 см. | Торф черного цвета, войлокообразный, сильно гумифицирован, сырой, мажется, степень разложения ~ 40–45 %.  |
| 225–250 см. | Торф черного цвета, сильно гумифицирован, сырой, мажется, степень разложения ~ 40 %.  |
| 250–275 см. | Торф черного цвета, войлокообразный, волокна пушицы, обилие мелких и средних древесных остатков, степень разложения ~ 30 %.   |

- 275–300 см. Торф черного цвета, обилие пленок хвоща, сырой, похож на войлок, степень разложения ~ 30–35 %.
- 300–325 см. Торф черного цвета, легкий, войлокообразный, остатки гипновых мхов, влажный, нелистоватый, степень разложения ~ 30–35 %.
- 325–350 см. Торф черного цвета, сильно гумифицирован, обилие пленок хвоща, легкий, влажный, степень разложения ~ 35–40 %.
- 350–375 см. То же, сильно мажется, мокрый, из стенки торфяника в результате вытаивания льда сочится вода, степень разложения ~ 40–45 %.
- 375–400 см. Торф черного цвета, есть крупные куски древесины березы и лиственницы, мокрый, сильно мажется, по внешнему виду похож на почву, степень разложения ~ 50 %.
- 400–410 см. Суглинок, мерзлый, оглеенный, быстро тает на воздухе, из-под торфяника интенсивно сочится вода.

**Стратиграфия торфяной залежи.** Стратиграфия бугров пучения в составе изученных болотных комплексов и основные растения-торфообразователи, слагающие их залежь, приведены на рис. 5, а, б.

Торфяная залежь бугра пучения в составе крупнобугристого болотного комплекса (см. рис. 5, а) относится к смешанному типу, преимущественно топяному подтипу.

От подошвы торфяника – 4.0 м и вверх до глубины 0.65 м она образована низинными видами торфа: древесно-гипновым, гипновым, травяно-гипновым, травяным, осоковым. В интервале глубин 0.65–0.44 м залежь сложена осокково-гипновым переходным торфом. Выше – 0.44–0.05 м – она образована верховым слабо разложившимся фускум-торфом. Сухая грубая мохово-лишайниковая дернина, покрывающая вершину бугра, состоит из остатков вересковых кустарничков и кустарничковой березы (до 50 % растительного волокна), а также лесных зеленых мхов и лишайников.

Степень разложения торфа в верхних слоях варьирует от 5.0 до 10.0 %. В средних слоях залежи она равна 20.0–25.0 %, а книзу резко возрастает и составляет 35.0–40.0 %. Влажность торфа по слоям колеблется в широких пределах – от 80.0 % вверху до 97.5 % – в основании залежи. Зольность торфа верхней части залежи, образованная фускум-торфом, составляет 2.0–3.7 %. В горизонтах, сложенных травяным торфом с примесью коры и древесины, она варьирует от 5.6 до 8.2 %. У основания бугра зольность возрастает до 30 %, что, вероятно, связано с при-

внесением в торфяную залежь минеральных частиц (песка, суглинка). Кислотность торфов от поверхности залежи до ее основания изменяется слабо и колеблется от 2.9 до 4.0.

Стратиграфия бугра пучения в составе плоскобугристого болотного комплекса приведена на рис. 5, б. Залежь бугра снизу вверх (1.3–0.75 м) представлена низинным травяно-гипновым и гипновым торфами. Основную массу волокна торфа – 50–60 % – образуют гипновые мхи, на долю осок приходится 20–30 %. В небольшом количестве (по 10 %) встречаются также хвощ и шейхцерия. Выше (0.75–0.5 м) торфяная залежь представлена фускум-торфом, основными торфообразователями которого являются сфагнумы бурый и красноватый. На долю первого приходится 60–70 % волокна торфа. В качестве примеси в волокне торфа отмечены вересковые кустарнички – 5–20 %, пушица – 10 %, осоки – 10 %, лесные зеленые мхи (плевроциум Шребера) – 15 %. Верхний слой плоскобугристого торфяника образован сфагновым очесом из тех же мхов с примесью вересковых кустарничков, багульника и кассандры болотной.

Придонные слои торфа – травяно-гипновый и гипновый, имеют низкую степень разложения – 8–10 % и высокую влажность – более 90 %. Зольность этих торфов сильно занижена – 1.6–1.8 %, что объясняется слабой минерализацией болотных вод в районе с многолетнемерзлыми грунтами. Степень разложения и зольность фускум-торфа низкие – 3–5 и 2,1 % соответственно. Реакция среды сильнокислая по всему профилю.

Стратиграфия и ботанический состав торфа сплавины в озерке следующие. Придонная ее часть (2.25–2.0 м) образована топяным низинным травяно-гипновым торфом в условиях грунтового питания. Основные растения-торфообразователи – гипновые мхи – дрепанокладус плауновидный (*Drepanocladus lycopodioides* (Schwaegr.) Warnst.), калиэргон гигантский (*Calliergon giganteum* Schimp. Kindb.), к. лозовой (*C. sarmentosum* (Wahlenb.) Kindb.), мезезия трехгранная (*Meesia triquetra* (Jolycl.) Ångstr.) – 30 %, осока вздутая, о. топяная, о. водяная (*Carex aquatilis* Wahlenb.) и о. дернистая (*C. cespitosa* L.) – 35 %. Меньшее участие в сложении залежи принимали пушицы рыжеватая и стройная (*Eriophorum gracile* W. D. J. Koch.) – 15 %, хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.). Около 5 % остатков волокна приходится на кору древовидной березы. Выше этого слоя торфа (2.0–0.5 м) залегает мощная водная прослойка.

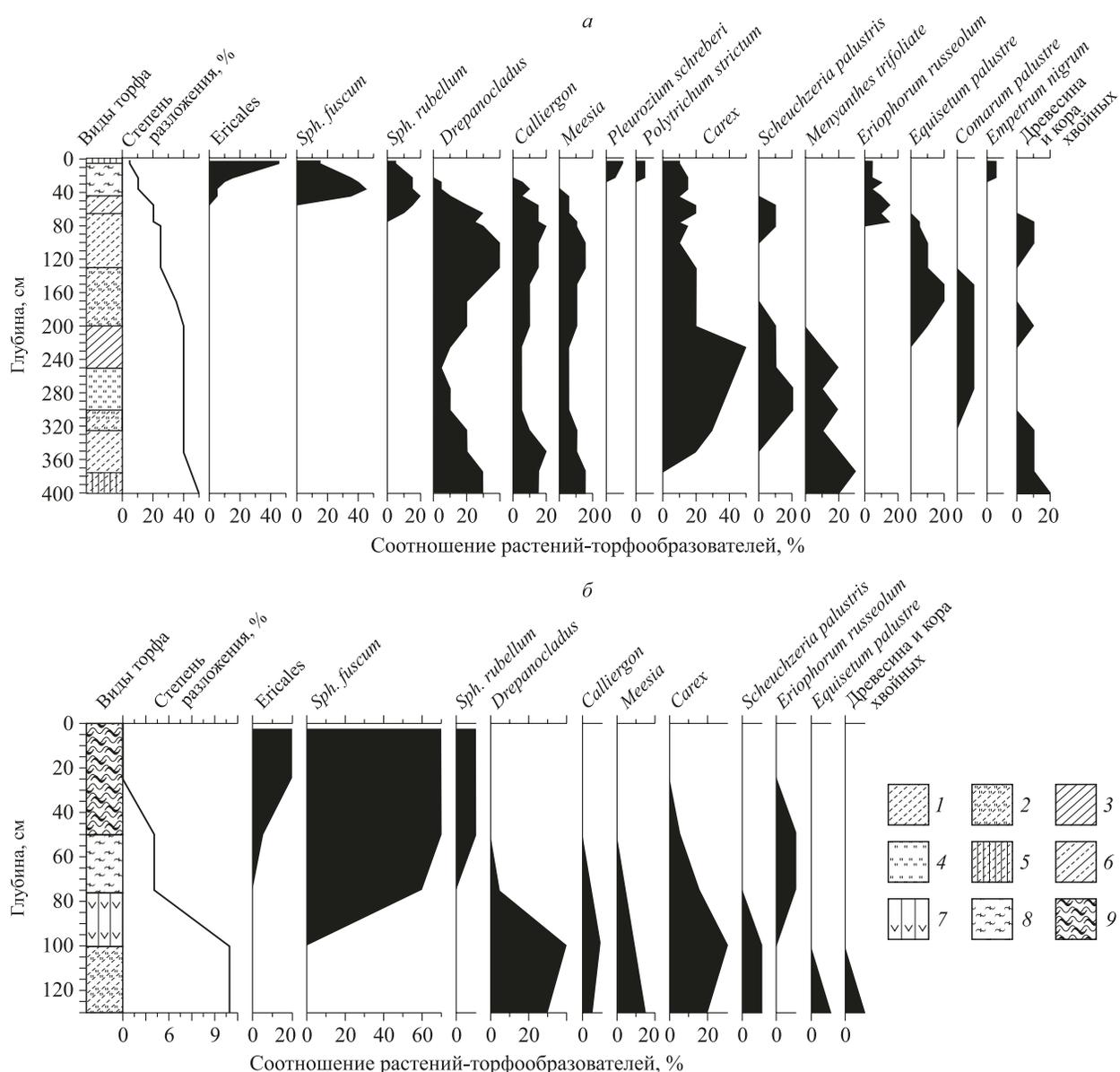


Рис. 5. Стратиграфия и основные торфообразователи бугра пучения в составе крупнобугристого болотного комплекса (а) и плоскобугристого торфяника (б).

Виды торфа: 1 – гипновый низинный, 2 – травяно-гипновый низинный, 3 – осоковый низинный, 4 – травяной низинный, 5 – древесно-гипновый низинный, 6 – осоково-гипновый переходный, 7 – фускум-торф, 8 – кустарничковая дернина, 9 – сфагновый очес. *Ericales* – верескоцветные, *Sph. fuscum* – сфагнум бурый, *Sph. rubellum* – с. красноватый, *Drepanocladus* – дрепанокладус, *Calliergon* – калиэргон, *Meesia* – меезия, *Pleurozium schreberi* – плевроциум Шребера, *Polytrichum strictum* – политрихум сжатый, *Carex* – осока, *Scheuchzeria palustris* – шейхцерия болотная, *Menyanthes trifoliata* – вахта трехлистная, *Eriophorum russeolum* – пушица рыжеватая, *Equisetum palustre* – хвощ болотный, *Comarum palustre* – сабельник болотный, *Empetrum nigrum* – водяника черная.

Верхняя часть сплавины (глубина 0.5–0 м) образована переходным сфагновым торфом, который сформировался в условиях питания поверхностно-сточными водами. Главные торфообразователи – мочажинные сфагновые мхи – большой (*Sphagnum majus* (Russ.) С. Jens.), Линдберга и балтийский, на долю которых приходится 60 % растительного волокна торфа. Меньшее участие в сложении залежи принимают гипновые мхи – дрепанокладус плауновид-

ный, калиэргоны гигантский и лозовой, меезия трехгранная – 30 %. В качестве примеси в волокне торфа отмечены остатки пушицы рыжеватой, осок топяной и кругловатой (*Carex rotundata* Wahlenb.), корешки вересковых кустарничков.

**Генезис и стадии развития бугров.** Торфяные бугры пучения в криолитозоне имеют разный возраст в связи с разновременностью начала заболачивания и конкретными мерзлотно-фациальными условиями территории

(Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk A. S., 1998). Сведения об их возрасте в районе наших исследований очень ограничены. Имеющиеся в литературе радиоуглеродные датировки свидетельствуют о том, что в окрестностях г. Игарка торфяные бугры имеют голоценовый возраст – около  $9480 \pm 120$  лет назад (л. н.) по  $^{14}\text{C}$  (Хотинский, 1977),  $8210 \pm 250$  л. н. (Кошкарова и др., 1975),  $7330 \pm 80$  л. н. (Васильчук и др., 2008, 2013) и  $5425 \pm 20$  л. н. ( $6200 \pm 40$  кал. л. н.) (Новенко и др., 2021). К сожалению, мы не располагаем результатами радиоуглеродного датирования исследованных бугров пучения. Судя по ботаническому составу торфа и мощности торфяной залежи, крупнобугристый торфяник имеет бореальный возраст – примерно 8.0 тыс. л. н., а плоскобугристый – около 3.0 тыс. л. н. Он образовался, вероятнее всего, на суббореально/субатлантическом контакте.

Опираясь на данные ботанического состава торфа, реконструируем генезис и стадии формирования исследованных бугров пучения. В развитии крупного бугра пучения на правом берегу р. Черная выделено шесть стадий.

Первая, древесно-гипновая (субаквальная), стадия формирования бугра – интервал глубин 4.0–3.0 м, характеризуется высоким содержанием в торфе (до 20 %) древесины и коры лиственницы (*Larix* sp.), а также гипновых мхов родов дрепанокладус, каллиэргон и меезия (60 %). Остальная часть волокна торфа приходится на осоки кругловатую, вздутую, топяную, водяную и дернистую, а также на болотное разнотравье – шейхцерию, хвощ, вахту, сабельник. Такой состав торфа свидетельствует о развитии торфяника на месте редкостойного лиственничника, в напочвенном покрове которого произрастали гидрофильные виды мохово-травяной растительности. Начало торфообразования бугра, пришлось, вероятно, на теплый и влажный климат бореального периода – 8.0 тыс. л. н. В этот отрезок голоцена в криолитозоне северной тайги Приенисейской части Средней Сибири, вероятно, также как и в аналогичной подзоне Западной Сибири, на суходолах были развиты леса из ели, березы и лиственницы, а на переувлажненных территориях происходило активное накопление торфа, преимущественно гипнового (Briffa, 2000; Наурзбаев и др., 2003; Васильев, 2007).

В течение второй стадии (слой торфа 3.0–2.0 м), возможно, в результате начавшегося пучения и частичного осушения (или понижения

уровня грунтовых вод) бугра, происходит смена растительного покрова болота. Доминантами на протяжении всей стадии становятся осоки топяная, вздутая и кругловатая с небольшой примесью вахты, шейхцерию, пушицы. Гипновые мхи уже не играли существенной роли в образовании растительности бугра. Начало стадии, вероятно, пришлось на первую половину атлантического (АТ) периода – 7.0–6.0 тыс. л. н. По литературным данным (Белорусова и др., 1987), в это время голоцена климат становится более сухим по сравнению с предыдущим периодом, а на болотах криолитозоны все еще активно идет процесс торфонакопления с отложением осоковых и травяных видов торфа.

Третья стадия фиксируется в интервале 2.0–0.65 м залежи. Судя по большой мощности торфяного пласта, его образование пришлось на вторую половину АТ, который характеризуется оптимумом тепла и влаги. Согласно Ж. М. Белорусовой и соавт. (1987), в этот временной отрезок голоцена «отклонение июльской изотермы от современных значений в криолитозоне Средней Сибири составляло ... не менее 8–10 °С» (с. 617), по другим данным (Антропоген..., 1982; Bradley, 1999; Наурзбаев и др., 2003), – около 3–4 °С. Основными торфообразователями бугра пучения на этой стадии являлись гипновые мхи, осоки и болотное разнотравье (см. рис. 5, а).

Четвертая стадия развития бугра (торфяной пласт на глубинах 0.65–0.44 м) пришлось, вероятно, на суббореальный период голоцена, который характеризуется дальнейшим усилением континентальности климата, похолоданием и появлением мерзлоты в торфяниках (Пьявченко, 1955). Изменение экологических условий привело к постепенной смене евтрофных группировок растительности мезотрофными и к уменьшению скорости торфонакопления. Об этом свидетельствуют маломощный слой переходного торфа и его ботанический состав, волокно которого образуют не только гипновые мхи и осоки, но и сфагнум красноватый в примеси с вересковыми кустарничками. Такая смена растительности может быть результатом периодического протаивания и поднятия, а затем последующего его промерзания. Обсыхание торфяника из-за усиления мерзлотных процессов постепенно привело к завершению субаквальной стадии и переходу в субэзральную стадию формирования бугра.

Пятая, сфагновая, стадия развития бугра пучения отмечена в интервале глубин 0.44–0.05 м. В результате дальнейшего похолодания климата криолитозоны (Andreev et al., 2004; Палео-

климат..., 2019), который пришелся на начало субатлантического (SA) периода – 2.5 тыс. л. н., происходит промерзание бугра и его пучение. Возрастает роль атмосферных осадков в питании торфяника, что приводит к смене мезотрофных травяно-моховых фитоценозов олиготрофными кустарничковыми и мохово-лишайниковыми. Субаэральные условия произрастания растительности приводят к тому, что доминирующими растениями-торфообразователями становятся сфагнумы бурый и красноватый, на долю которых приходится 50–55 % растительных остатков торфа. Остальную часть волокна образуют осоки волосистоплодная (*Carex lasiocarpa* Ehrh.), плетевидная (*C. chordorrhiza* Ehrh.) и водяная, пушица влагилищная (*Eriophorum vaginatum* L.), мелкие корни березы кустарничковой. По литературным данным (Новенко и др., 2021), переход бугров пучения из субаквальной стадии в субаэральную в окрестностях г. Игарки произошел около 2.25 тыс. л. н.

Шестая стадия (слой торфа 0.05–0 см) характеризует современное состояние бугра пучения. Происходит дальнейшее иссушение его поверхности, полное прекращение питания торфогенного слоя грунтовыми водами. Пятна обнаженного деградированного торфа на поверхности бугра свидетельствуют о постепенном затухании торфообразовательного процесса.

Анализ стратиграфии торфяной залежи молодого плоского бугра свидетельствует о том, что в его развитии было две стадии. Первая, субаквальная, стадия прослеживается в интервале глубин торфяной колонки 1.30–0.75 м и приходится, вероятно, на конец SB. Ботанический состав торфа свидетельствует о том, что болото образовалось на месте переувлажненного редкостойного лиственничного леса (20 % растительных остатков волокна торфа приходится на лиственницу). В его напочвенном покрове господствовали гидрофильные гипновые мхи – каллиергон трехрядный (*Calliergon trifarium* (F. Weber & D. Mohr) Loeske.), меззия трехгранная, дрепанокладусы глянцеватый (*Drepanocladus vernicosus* (Mitt.) Warnst.) и крючковидный (*D. aduncus* (Hedw.) Warnst.) и осоки – топяная, водяная и дернистая.

Вторая стадия, субаэральная, отмечена в интервале глубин 0.75–0 м и приходится, вероятно, на начало SA – 2.5 тыс. л. н. Похолодание регионального климата, вероятнее всего, сначала привело к формированию сезонного промерзания болота. В результате возросшей роли атмосферных осадков в питании болота

началась активная трансгрессия на его поверхность олиготрофных сфагновых мхов, что привело к резкой смене евтрофной растительности олиготрофной, доминантом которой стал сфагнум бурый. Впоследствии отложившийся слой слаборазложившегося сфагнового торфа, обладающий мощными теплоизоляционными свойствами, в условиях направленного похолодания климата привел к пучению торфяной залежи с формированием плоского бугра.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены два типа мерзлотно-бугристых болотных комплексов, расположенных в сходных топографических условиях залегания на второй надпойменной террасе долины р. Черная, но различающихся по морфологическому строению, возрасту, морфоструктурному строению торфяных залежей, современному растительному покрову и стратиграфии торфяной залежи. Растительный покров криогенных болотных комплексов в целом имеет тундровый облик, флористически беден и представлен преимущественно психрофильными видами кустарничков, мхов и лишайников. По данным ботанического анализа торфа и на основании знаний о закономерностях отклика болот криолитозоны Средней Сибири на климатические изменения голоцена, установлено, что формирование крупнобугристого торфяника пришлось на начало бореального периода, а более молодого плоскобугристого – на конец суббореального периода голоцена.

Генезис крупнобугристого торфяника и его формирование близки схеме развития большинства бугристых торфяников Севера Западной Сибири и Красноярского края: от евтрофных слабооблесенных болотных сообществ через мезотрофную стадию к олиготрофному фускумсообществу. Стратиграфия залежи, состоящая из слоев торфа различного видового состава, свидетельствует о многократной смене растительных группировок на болоте. Эти смены могли происходить как в результате региональных климатических изменений условий увлажнения, варьирования зимних, летних и годовых температур в различные периоды голоцена, так и опосредованного – через агредацию и деградацию многолетней мерзлоты в торфянике (по причине локальных факторов самого бугра – его пучения и последующего протаивания).

Развитие более молодого по возрасту плоскобугристого торфяника началось в относительно

теплом климате суббореала. Похолодание климата в криолитозоне Приенисейской Сибири в начале субатлантики привело к активному формированию многолетнемерзлых пород в районе исследований и интенсивному пучению торфяного бугра. В дальнейшем происходит его осушение и смена евтрофных древесно-травяно-моховых фитоценозов на олиготрофные сфагновые. Накопление довольно мощного слоя фускум-торфа – изолятора тепла – также способствовало промерзанию и пучению торфяника.

Можно предположить, что в настоящее время на крупнобугристом торфянике происходит постепенное затухание торфообразовательного процесса, о чем свидетельствуют локальная деградация торфа на его дневной поверхности и заселение деградированных пятен мощным ковром из кустистых лишайников. На участке исследований, занятом плоскобугристыми торфяниками, положительная температура воды в термокарстовых озерах вызывает таяние мерзлоты, что приводит к активизации накопления торфа. Об этом свидетельствует плотная сплавина озера, образованная преимущественно мочажинным сфагновым торфом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антропоген Таймыра* / Под ред. Н. В. Кинд и Б. Н. Леонова. М.: Наука, 1982. 184 с.
- Белорусова Ж. М., Ловелиус Н. В., Украинцева В. В.* Региональные особенности изменения природы Таймыра в голоцене // Бот. журн. 1987. Т. 72. № 5. С. 610–618.
- Васильев С. В.* Лесные и болотные ландшафты Западной Сибири. Томск: Изд-во науч.-техн. лит-ры, 2007. 274 с.
- Васильчук Ю. К., Васильчук А. К., Буданцева Н. А., Чижова Ю. Н.* Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / Под ред. Ю. К. Васильчука. М.: Изд-во МГУ, 2008. 571 с.
- Васильчук Ю. К., Васильчук А. К., Репкина Т. Ю.* Миграционные бугры пучения в заполярной части криолитозоны Средней Сибири // Инж. геол. 2013. № 2. С. 28–45.
- Домбровская Ф. В., Коренева М. М., Тюремнов С. Н.* Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе. М.; Л.: Гос. энерг. изд-во, 1959. 90 с.
- Ефремов С. П., Пьявченко Н. И.* О генезисе бугристых болот бассейна Подкаменной Тунгуски // Изв. СО АН СССР. Сер. биол.-мед. наук. 1964. Вып. 3. № 12. С. 37–43.
- Калашиников Е. Н.* Физико-географическое районирование Красноярского края и Республики Хакасии (Карта в масштабе 1 : 2 500 000) // Атлас Красноярского края и Республики Хакасии. Новосибирск: Роскартография, 1994.
- Кац Н. Я., Кац С. В., Скобеева Е. И.* Атлас растительных остатков в торфах. М.: Недра, 1977. 376 с.
- Классификация* растительного покрова и видов торфа центральной части Западной Сибири. М.: Геолторфразведка, 1975. 148 с.
- Константинова Г. С.* О криогенных образованиях в районе Большого Хантайского порога // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 112–120.
- Кошкарлова В. Л., Кутафьева Т. К., Жидовленко В. А., Стариков Э. В.* Комплексное исследование торфяника в окрестностях Игарки // История лесов Сибири в голоцене. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. С. 60–71.
- Кузнецов Н. И.* Лайды в низовьях р. Енисея, их строение, образование и место в классификационной системе болотно-лесных образований // Тр. Поляр. комис. АН СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1932. Вып. 12. С. 5–40.
- Мельниченко Т. Н.* Криогенные процессы в структуре и динамике ландшафтов северо-запада Среднесибирского плоскогорья: автореф. ... дис. канд. геогр. наук: 25.00.23. Барнаул: Алтай. гос. ун-т, 2004. 19 с.
- Наурзбаев М. М., Вазанов Е. А., Сидорова О. В.* Изменчивость приземной температуры воздуха на севере Евразии по данным тысячелетних древесно-кольцевых хронологий // Криосфера Земли. 2003. Т. 7. № 2. С. 84–91.
- Новенко Е. Ю., Мазей Н. Г., Куприянов Д. А., Прокушкин А. С., Шатунов А. Е., Сериков С. И.* Палеоэкология крупнобугристого болота в окрестностях г. Игарка в голоцене // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Шестого Междунар. полевого симп., Ханты-Мансийск, 28 июня – 08 июля 2021 г. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2021. С. 179–181.
- Орлов В. И.* Некоторые особенности бугристых торфяников в районе Игарки // Изв. ВГО. 1962. Т. 94. № 1. С. 75–79.
- Палеоклимат* полярных областей Земли в голоцене: К 100-летию Арктического и антарктического научно-исследовательского института / Под общ. ред. Д. Ю. Большакина и С. Р. Веркулича. СПб.: ААНИИ, 2019. 204 с.
- Прейс Ю. И.* Инверсионные грядово-мочажинные комплексы низинных болот криолитозоны Средней Сибири // Изв. Том. политех. ун-та. 2004. Т. 307. № 4. С. 64–70.
- Пьявченко Н. И.* Бугристые торфяники. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 280 с.
- Хотинский Н. А.* Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 198 с.
- Черепанов С. К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 990 с.
- Шевелева Н. С., Хомичевская Л. А.* Геокриологические условия Енисейского Севера. М.: Наука, 1967. 128 с.
- Шумилова Л. В.* О бугристых торфяниках южной части Туруханского края // Изв. Том. отд. Рус. бот. об-ва. 1931. Т. 3. С. 1–13.
- Andreev A., Tarasov P., Klimanov V., Melles M., Lisitsyna O., Hubberten H.* Vegetation and climate changes around the Lama Lake, Taymyr Peninsula, Russia during the Late Pleistocene and Holocene // Quatern. Int. 2004. V. 122. Iss. 1. P. 69–84.
- Bradley R. S.* Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary. Int. Geophys. Ser. V. 64. Acad. Press, 1999. 613 p.

Briffa K. R. Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees // *Quaternary Sci. Rev.* 2000. V. 19. N. 1. P. 87–105.

Vasil'chuk Yu. K., Vasil'chuk A. C. The  $^{14}\text{C}$  age of palsas in Northern Eurasia // *Radiocarbon*. 1998. V. 40. N. 2. P. 895–904.

## PERMAFROST-HILLY SWAMP COMPLEXES OF THE NORTHERN TAIGA OF THE YENISEI SIBERIA

L. V. Karpenko

*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: karp@ksc.krasn.ru

The results of the study of two permafrost-hilly swamp complexes located in the valley of the Chernaya River, the right-bank tributary of the Yenisei River (near the city of Igarka), are presented. Among them are coarse-tuberous and flat-tuberous peatlands of different ages, genesis and stages of development. The modern vegetation cover of the complexes is characterized, a detailed morphostructural description of peat profiles is given, a botanical analysis is performed and the values of the degree of decomposition, ash content and moisture content of peat are determined. The thickness of the coarse-tuberous peat bog deposit is 4.0 m, the approximate age is 8 thousand years ago. In the process of its formation, it underwent six stages of change, of which the first was forest. The peat deposit is classified as forest-swamp and marsh subtypes. The main peat-forming agents from bottom to top of the profile were successively eutrophic hypnosia mosses, mosses (*Hypnales* W. R. Buck et Vitt), sedges (*Carex* L.), horsetails (*Equisetum* L.) and, finally, oligotrophic sphagnum mosses (*Sphagnopsida* Ochyra). The flat-tuberous peat bog with a capacity of 1.3 m and an age of about 3 thousand years in its development has gone through two stages of vegetation changes, of which the first is forest. Peat deposit of forest-marsh and marsh subtypes. Throughout its depth, ice layers are recorded. In the lower part of the peat profile, the main peat-forming agents were eutrophic hypnomic mosses, and in the upper part – oligotrophic sphagnum mosses. Changes in the vegetation cover of hilly peatlands occurred both as a result of changes in the regional climate in the Holocene, and due to the appearance of permanent permafrost in peatlands, heaving of mounds and their subsequent thawing. The appearance of spots of exposed peat on the day surface of peatlands and the formation of a powerful lichen cover in their place indicate the cessation of the peat formation process.

**Keywords:** *heaving mounds, macromorphological structure, stratigraphy, peat-forming plants, peat species, Holocene, reconstruction, stages.*

**How to cite:** *Karpenko L. V. Permafrost-hilly swamp complexes of the northern taiga of the Yenisei Siberia // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 3–14 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 631.445.12:631.413.5

## ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ОСУШЕННЫХ БОЛОТНЫХ СОСНЯКОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Т. Т. Ефремова, С. П. Ефремов, А. Ф. Аврова

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

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru, efr2@ksc.krasn.ru, avrova@ksc.krasn.ru

*Поступила в редакцию 27.06.2023 г.*

Изучены слабодренированные осоково-сфагновые сосняки (*Pinus sylvestris* L.) в южно-таежной подзоне Западной Сибири, осушенные сетью открытых мелких каналов 25 лет тому назад на момент исследования (географические координаты 56°23'71" с. ш., 84°34'04" в. д.). Глубина стояния болотных вод за 3 года исследований составила в среднем  $23.2 \pm 9.9$  см за теплый период. Почвы – освоенные переходного (мезотрофного) типа на мощных осоково-сфагновых торфах, характеризуются кислой реакцией среды – pH 4.0, рыхлым сложением –  $0.10$  г/см<sup>3</sup> и зольностью 8.9–5.2 %, снижающейся с глубиной. Почвенный профиль в теплый период слабо дифференцирован на зону интенсивных окислительных процессов (0–10 см) – 570–660 мВ (медиана 610) и умеренно окислительных (10–30 см) – 430–640 мВ (медиана 590). Основная направленность (тренд) сезонных колебаний окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) характеризуется средним еженедельным ускорением на 7.2 мВ со средним еженедельным замедлением на 0.23 мВ с июня по октябрь. ОВП по типу линейной функции достоверно связан: положительно с уровнем стояния почвенно-грунтовых вод ( $R^2 = 0.65$ ) и температурой почв ( $R^2 = 0.56$ ), отрицательно – с объемной влажностью ( $R^2 = 0.60$ ). Выявлена достоверная по типу параболы второго порядка связь ОВП: отрицательная – с  $Fe^{2+}$  ( $R^2 = 0.48$ ) и аммонием ( $R^2 = 0.57$ ), положительная с  $Fe^{3+}$  ( $R^2 = 0.39$ ), разнонаправленная – с  $Fe_c$  ( $R^2 = 0.55$ ) и водорастворимым органическим углеродом ( $R^2 = 0.54$ ). Методом канонического анализа установлено, что ОВП определяется множеством гидротермических показателей на 81 %. Наибольший вес в обусловленный эффект вносит объемная влажность. Различные формы железа совокупно оценивают развитие ОВ-реакций на 52 %, доминантный вклад принадлежит  $Fe^{2+}$ . Множество углерод и  $NH_4^+$  детерминирует ОВ-потенциал на 61 % с наибольшим весом углерода в совокупность признаков.

**Ключевые слова:** сезонный тренд, парные регрессионные модели, канонический анализ, гидротермические условия, система  $Fe^{3+}$ – $Fe^{2+}$ , водорастворимый углерод, аммоний.

DOI: 10.15372/SJFS20240202

### ВВЕДЕНИЕ

Предвидение хода трансформации болотных экосистем под влиянием осушения позволяет предотвращать неблагоприятные экологические последствия, только в Западной Сибири площадь болот составляет 79.1 млн га, вмещающих 81.9 млн т абсолютно сухого органического вещества (Ефремов и др., 1994). Поэтому вопросы антропогенного воздействия и оптимизация режимов хозяйственного освоения имеют актуальное значение. В основе ведущих почвообразовательных процессов лежат, как извест-

но, окислительно-восстановительные режимы, которые характеризуются высокой динамичностью. В последнее время исследования условий аэрации в болотах Западной Сибири выполнены в пределах стратиграфического профиля через каждые 0–25 (50) см, которые в большей мере важны для оценки окислительно-восстановительных процессов в ходе торфогенеза, а также смены природных условий в масштабе геологического времени (Порохина и др., 2015; Инишева и др., 2016, 2018; Inisheva et al., 2016, 2018). Для обоснования рациональной лесосушительной мелиорации болот более важно изучать со-

временные почвы (0–30 см) в пределах корнеобитаемой зоны и средневегетационного уровня стояния почвенно-грунтовых вод.

Цель настоящей работы – выявить в осушенных почвах сосновых древостоев:

а) основную тенденцию (тренд) и интенсивность сезонных колебаний окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в летний период;

б) оценить связь ОВП с условиями почвенной среды: уровнем стояния поверхностных вод, температурой, влажностью, водорастворимым углеродом, аммонием и системой ферро-ферри;

в) установить взаимообусловленный эффект экологических параметров и выявить доминантные факторы среды, регулирующие окислительно-восстановительные процессы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучали лесное болото, осушенное сетью открытых каналов 25 лет тому назад (географические координаты 56°23'71" с. ш., 84°34'04" в. д.). Исследовали наиболее распространенные слабоосушенные осоково-сфагновые сосняки (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на 47-метровой межканальной полосе. Глубина стояния болотных вод за теплый период составила в среднем  $23.2 \pm 9.9$  см. Почвы – освоенные, мезотрофного типа, на мощных осоково-сфагновых торфах, характеризуются кислой реакцией среды – pH 4.0, рыхлым сложением – 0.10 г/см<sup>3</sup> и зольностью 8.9–5.2 %, снижающейся с глубиной. Окислительно-восстановительный потенциал, реакцию среды (pH) измеряли с помощью переносного pH-метра-милливольтметра ППМ-03М I по горизонтам в свежевыкопанном разрезе. Параллельно измеряли температуру почв и отбирали образцы на химический анализ компонентов в составе водной вытяжки, определяющих развитие ОВ-процессов: C, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Fe<sub>c</sub>, связанное с

органическим веществом, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>. Ингредиенты определяли в свежееотобранных образцах: двухвалентное железо – с α-дипиридиллом, трехвалентное и Fe<sub>c</sub> – (после озоления водной вытяжки) – сульфосалициловой кислотой, углерод – бихроматным методом по Тюрину, аммоний – с реактивом Несслера (Агрохимические методы..., 1975). Исследования выполнялись в теплый период с шагом наблюдений 5–8 (среднее 7) дней.

Статистический анализ экспериментальных данных выполнен по руководству А. А. Халафяна (2007), статистическая характеристика рядов распределения сезонной активности окислительно-восстановительного потенциала – по прописям Э. В. Чеботовского (2002).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Окислительно-восстановительный потенциал слабоосушенных лесных почв в течение июня–октября характеризует ОВ-режим с господством окислительных процессов согласно И. С. Кауричеву и Д. С. Орлову (1982) (табл. 1).

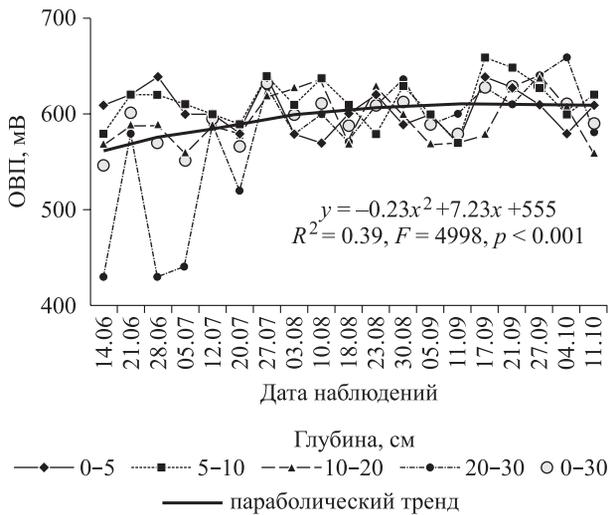
Почвенный профиль слабо дифференцирован на зону интенсивных окислительных процессов (0–10 см) – 570–660 мВ (медиана 610) и умеренно-окислительных (10–30 см) – 430–640 мВ (медиана 590). В пределах большей части почвенного профиля размах колебаний ОВП в теплый период имеет стабильный характер, в среднем – около 80 мВ, и только в горизонте 20–30 см повышается до 210.

Графоаналитические построения сезонной динамики ОВ-потенциала затрудняют оценку изучаемого явления (рис. 1).

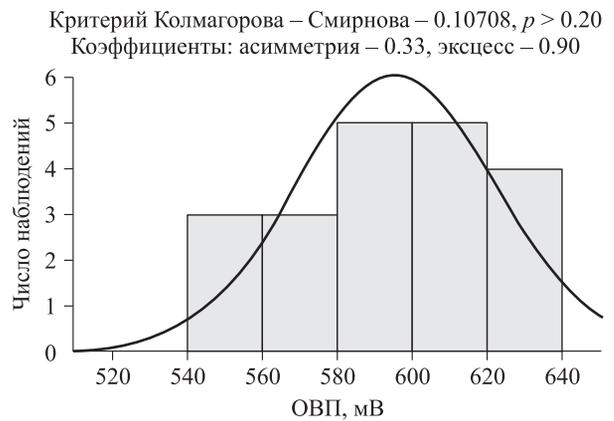
С помощью математической функции от времени – регрессионного уравнения параболы второго порядка – получили объективные оценки хода сезонных колебаний. В параболической функции тренда ( $y = -b_2x^2 + b_1x + a$ ) положительный знак параметра  $b_1$  и отрицательный  $b_2$  ото-

**Таблица 1.** Окислительно-восстановительный потенциал лесных торфяных почв слабого осушения за теплый период, мВ

| Показатель              | Глубина почвенного горизонта, см |         |         |         |         |
|-------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                         | 0–5                              | 5–10    | 10–20   | 20–30   | 0–30    |
| Среднее                 | 603                              | 614     | 598     | 563     | 595     |
| Медиана                 | 600                              | 610     | 590     | 590     | 595     |
| Мода                    | 600                              | 600     | 570     | 580     | 630     |
| Минимум–максимум        | 570–640                          | 580–660 | 560–640 | 430–640 | 548–633 |
| Размах                  | 70                               | 80      | 80      | 210     | 85      |
| Коэффициент вариации, % | 4                                | 4       | 5       | 13      | 5       |



**Рис. 1.** Окислительно-восстановительный потенциал в лесных слабоосушенных торфяных почвах за период наблюдений.



**Рис. 2.** Гистограмма и кривая распределения окислительно-восстановительного потенциала в слое 0–30 см осушенных торфяных почв.

бразуют повышение выровненного ряда с замедлением –  $2b_2$  (Чекотовский, 2002). Числовые значения и знаки параметров параболического тренда показывают, что с июня по октябрь средняя интенсивность ОВ-процессов еженедельно повышалась на 7.2 мВ с еженедельным средним замедлением на 0.23 мВ.

Гистограмма частот, согласно критерию Колмагорова – Смирнова, значениям асимметрии и эксцесса, соответствуют закону нормального распределения, что обеспечивает корректное описание уравнений регрессии зависимости ОВП от заданных факторов почвенной среды (рис. 2).

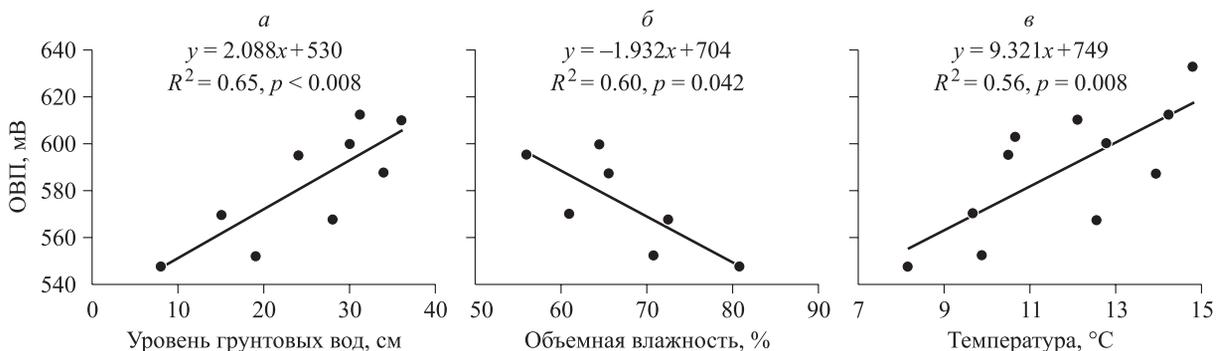
Развитие ОВ-режимов в почвенной среде – экологически обусловленный процесс. Установлено, что окислительно-восстановительный потенциал (548–633 мВ) по типу линейной функции достоверно связан: положительно с уровнем стояния почвенно-грунтовых вод (8–36 см) – на 65 % и температурой почв (8–15 °С) – на 56 %,

отрицательно – с объемной влажностью (56–82 %) – на 60 % (рис. 3, а–в).

К числу важнейших элементов, определяющих развитие ОВ-процессов, относится железо как элемент с переменной валентностью. В торфяных почвах присутствует чаще всего в виде свободных ионов двух- и трехвалентного железа, коллоидных форм в составе органических (гумусовых) веществ и различных гидроксидов.

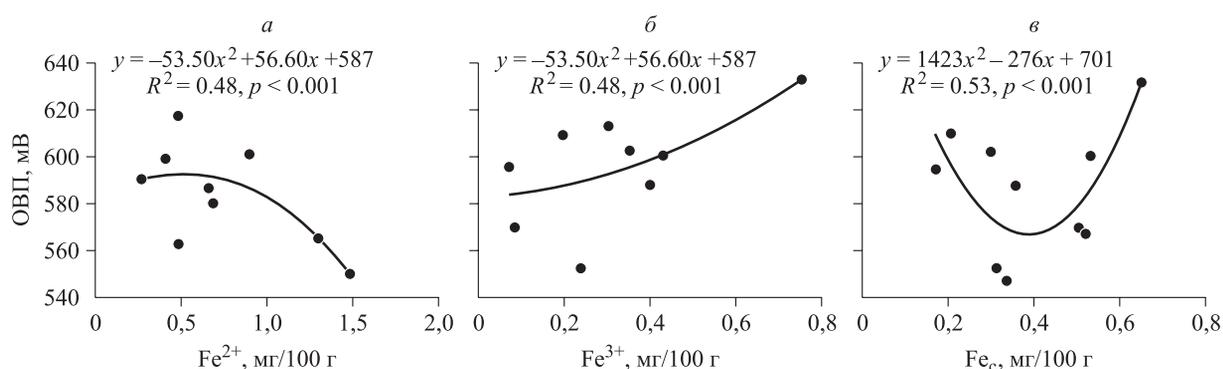
В осушенных лесных почвах выявлена достоверная по типу параболы второго порядка связь ОВП 553–633 мВ: отрицательная с  $Fe^{2+}$  (0.27–1.48 мг/100 г) на уровне 48 %, положительная с  $Fe^{3+}$  (0.07–0.75 мг/100 г) – 39 % (рис. 4, а, б).

Обусловленность ОВП железом, связанным с органическим веществом ( $Fe_c$  0.42–1.63 мг/100 г) на 55 % носит неоднозначную направленность (рис. 4, в). Экстремум, рассчитанный по параметрам функции, характеризует отрицательную связь в случае  $Fe_c$  менее



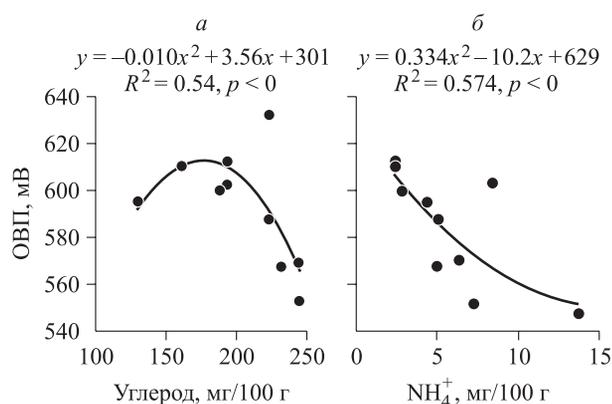
**Рис. 3.** Регрессионная связь окислительно-восстановительного потенциала и условий почвенной среды в лесных торфяных почвах слабого осушения.

а – уровень почвенно-грунтовых вод; б – объемная влажность; в – температура.



**Рис. 4.** Регрессионная связь окислительно-восстановительного потенциала с мобильными формами железа в лесных слабоосушенных торфяных почвах.

*a* –  $Fe^{2+}$ ; *б* –  $Fe^{3+}$ ; *в* –  $Fe_c$  (органическое).



**Рис. 5.** Регрессионная связь окислительно-восстановительного потенциала с водорастворимыми продуктами разложения торфяного субстрата.

*a* – углерод; *б* –  $NH_4^+$ .

1 мг/100 г и положительную при дальнейшем увеличении содержания.

Органическое вещество и азот характеризуют широкий спектр окислительно-восстановительных взаимодействий в условиях почвенной среды. Установлена связь окислительно-восстановительного потенциала (553–633 мВ) на уровне 54 % с водорастворимым углеродом положительной направленности при содержании менее 180 мг/100 г и отрицательной при после-

дующим повышение до 245 мг/100 г (рис. 5, *a*). Обусловленность ОВ-потенциала 548–613 мВ аммонием (2.4–13.7 мг/100 г) носит отрицательный характер и аппроксимируется нисходящей ветвью параболы на 57 % (рис. 5, *б*).

Эффект разобщенного влияния отдельного показателя на развитие ОВ-процессов качественно и количественно отличается от их совокупного воздействия, поэтому возникает необходимость в свертывании пространства признаков, выявлении наиболее информативных показателей и указания нагрузок, с которыми каждый признак входит в исследуемую совокупность. Был применен канонический анализ, который обобщает множественную корреляцию в качестве меры связи одной случайной величины с множеством других случайных величин.

Канонические индексы детерминации ( $R^2$ ) показывают, что ОВП определяется множеством гидротермических показателей на 81 % (табл. 2).

Наибольший вес в обусловленный эффект вносит объемная влажность. Различные формы железа совокупно оценивают развитие ОВ-реакций на 52 %, доминантный вклад принадлежит  $Fe^{2+}$ . Множество С и  $NH_4^+$  детерминирует ОВ-потенциал на 61 % с наибольшим весом углерода в совокупность признаков.

**Таблица 2.** Связь окислительно-восстановительного потенциала с факторами почвенной среды

| Оценка канонического корня                        |                  |   |                  |   |                  |
|---|------------------|---|------------------|---|------------------|
| $R^2 - 0.81$ ,<br>$p$ -уровень значимости – 0.045 |                  | $R^2 - 0.52$ ,<br>$p$ -уровень значимости – 0.051 |                  | $R^2 - 0.61$ ,<br>$p$ -уровень значимости – 0.056 |                  |
| Переменные  | Канонический вес | Переменные  | Канонический вес | Переменные  | Канонический вес |
| Температура                                       | –0.30            | $Fe^{3+}$   | –0.28            | С   | <b>0.77</b>      |
| Влажность   | <b>0.66</b>      | $Fe^{2+}$   | <b>0.79</b>      | $NH_4$  | 0.37             |
| УГВ   | –0.26            | * $Fe_c$  | –0.20            |   |                  |

Примечание. УГВ – уровень грунтовых вод. \*  $Fe_c$  – железо, связанное с органическим веществом.

## ВЫВОДЫ

1. Слабо осушенные лесные почвы (УГВ 8–36 см) характеризуются в летний период стабильным преобладанием окислительных процессов.

2. Ход сезонных колебаний окислительно-восстановительного потенциала, детерминированный параболическим трендом, характеризуется среднее еженедельное ускорение на 7.2 мВ со средним еженедельным замедлением на 0.23 мВ с июня по октябрь.

3. ОВП преимущественно со средней теснотой положительно связан с уровнем стояния поверхностных вод, температурой почв и содержанием в водной вытяжке  $\text{Fe}^{3+}$ , отрицательно – с объемной влажностью,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и разноразложено с углеродом и  $\text{Fe}_c$ .

4. Обсуждаемые множества: а) гидротермические условия, б) мобильные формы железа, в) биогенные показатели совокупно объясняют вариацию ОВП на 81, 52 и 61 % соответственно, наибольший вес в обусловленный эффект вносят объемная влажность,  $\text{Fe}^{2+}$  и водорастворимый углерод.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Агробиохимические* методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.

- Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Мелентьева Н. В.* Запасы углерода в экосистемах болот // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск, 1994. С. 128–139.
- Инишева Л. И., Шайдак Л., Сергеева М. А.* Динамика биохимических процессов и окислительно-восстановительное состояние в геохимически сопряженных ландшафтах олиготрофного болота // Почвоведение. 2016. № 4. С. 505–513.
- Инишева Л. И., Маслов С. Г., Щукина К. Е.* Биохимическая активность торфа Обского региона // Химия твердого топлива. 2018. № 6. С. 33–41.
- Кауричев И. С., Орлов Д. С.* Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и географии почв. М.: Колос, 1982. 247 с.
- Порохина Е. В., Инишева Л. И., Дырин В. А.* Биологическая активность и сезонные изменения  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в торфяных залежах эвтрофного болота // Вестн. Том. гос. ун-та. Биол. 2015. № 3 (31). С. 157–176.
- Халафян А. А.* Statistica 6. Статистический анализ данных: Учебник. 3-е изд. М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. 512 с.
- Чекотовский Э. В.* Графический анализ статистических данных в Microsoft Excel 2000. М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. 464 с.
- Inisheva L. I., Maslov S. G., Shchukina K. E.* Biochemical activity of peat in the Ob region // Solid Fuel Chem. 2018. V. 52. N. 6. P. 373–381 (Original Rus. Text © L. I. Inisheva, S. G. Maslov, K. E. Shchukina, 2018, publ. in Khmiya Tverdogo Topliva. 2018. N. 6. P. 33–41).
- Inisheva L. I., Szajdak L., Sergeeva M. A.* Dynamics of biochemical processes and redox conditions in geochemically linked landscapes of oligotrophic bogs // Euras. Soil Sci. 2016. V. 49. N. 4. P. 466–474 (Original Rus. Text © L. I. Inisheva, L. Shaydak, M. A. Sergeeva, 2016, publ. in Pochvovedenie. 2016. N. 4. P. 505–513)

## REDOX CONDITIONS OF PEAT SOILS OF DRAINED SWAMP PINE FORESTS OF WESTERN SIBERIA

T. T. Efremova, S. P. Efremov, A. F. Avrova

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

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru, efr2@ksc.krasn.ru, avrova@ksc.krasn.ru

We studied poorly drained sedge-sphagnum pine forests (*Pinus sylvestris* L.) in the southern taiga subzone of Western Siberia, drained by a network of open shallow channels 25 years ago at the time of the study (geographical coordinates 56°23'71" N, 84°34'04" E). The depth of standing swamp waters for three years of research averaged  $23.2 \pm 9.9$  cm during the warm period. Soils – cultivated transitional (mesotrophic) type on powerful sedge-sphagnum peats. They are characterized by an acidic environment reaction – pH 4.0, a loose composition density of 0.10 g/cm<sup>3</sup> and an ash content of 8.9–5.2%, decreasing with depth. The soil profile in the warm period is poorly differentiated into a zone of intense oxidative processes (0–10 cm) – 570–660 mV (median 610) and moderately oxidative (10–30 cm) – 430–640 mV (median 590). The main direction (trend) of seasonal fluctuations of the redox potential (RP) is characterized by an average weekly acceleration of 7.2 mV with an average weekly deceleration of 0.23 mV from June to October. RP by the type of linear function is significantly associated: positively with the groundwater level ( $R^2 = 0.65$ ) and soil temperature ( $R^2 = 0.56$ ), negatively with volumetric humidity ( $R^2 = 0.60$ ). A significant second-order parabola-type relationship of RP was revealed: negative – with Fe<sup>2+</sup> ( $R^2 = 0.48$ ) and ammonium ( $R^2 = 0.57$ ), positive with Fe<sup>3+</sup> ( $R^2 = 0.39$ ), multidirectional – with Fe<sub>c</sub> ( $R^2 = 0.55$ ) and water-soluble organic carbon ( $R^2 = 0.54$ ). By the method of canonical analysis, it was found that the RP is determined by a set of hydrothermal indicators by 81 %. The volume humidity contributes the greatest weight to the conditioned effect. Various forms of iron cumulatively estimate the development of RP-reactions by 52 %, the dominant contribution belongs to Fe<sup>2+</sup>. The set of carbon and NH<sup>4+</sup> determines the redox potential by 61 % with the largest weight of carbon in the set of characteristics.

**Keywords:** *seasonal trend, paired regression models, canonical analysis, hydrothermal conditions, Fe<sup>3+</sup>–Fe<sup>2+</sup> system, water-soluble carbon, ammonium*

**How to cite:** *Efremova T. T., Efremov S. P., Avrova A. F. Redox conditions of peat soils of drained swamp pine forests of Western Siberia // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 15–20 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*652.4 (571.51)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЩЕРБА ЛЕСНЫМ ЭКОСИСТЕМАМ ПРИ ПОРАЖЕНИИ СИБИРСКИМ ШЕЛКОПРЯДОМ

С. К. Фарбер<sup>1</sup>, В. В. Солдатов<sup>2</sup>, Н. С. Кузьмик<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Филиал Российского центра защиты леса – Центр защиты леса Красноярского края  
660036, Красноярск, Академгородок, 50а/2

E-mail: sfarber@ksc.krasn.ru, soldatovvv@rcfh.ru, kuzmik@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 12.07.2023 г.

Рассмотрены вопросы последовательности расчета ущерба южно-таежным лесам Енисейского, Нижне-Енисейского, Северо-Енисейского лесничеств Красноярского края после вспышки массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov) в 2016–2018 гг. Площадь с различной степенью поражения насаждений составила 803 983 га при общей площади лесотаксационных выделов, на которых зафиксирована гибель древостоя, 2 034 665 га. Принимается положение, что размер ущерба равен разности стоимости насаждения до и после внешнего воздействия. Задача определения ущерба сводится к выявлению стоимости насаждения. Показано, что стоимость можно представить как сумму экосистемных (экологических и ресурсных) функций насаждения. Расчет выполняется относительно определенной функции, стоимость которой известна. В качестве такой функции использован древесный ресурс, который в виде таксовой ставки платы сбалансирован по местоположению, породам деревьев, классам товарности, и широко используется в качестве нормативного показателя при установлении платы за лесопользование. Для расчета ущерба в качестве исходных данных использовались материалы массовой таксации. Описания лесотаксационных выделов анализировались отдельно для защитных, эксплуатационных и резервных лесов. Расчеты проведены по преобладающим породам деревьев. Стоимость защитных лесов получилась больше, чем эксплуатационных, а стоимость экосистемных функций насаждений оказалась на порядок выше таксовой стоимости древесного ресурса. Общая стоимость насаждений до вспышки массового размножения сибирского шелкопряда определена в размере 70 275.2 млн руб., после вспышки – 52 249.8 млн руб. Общий ущерб лесам составил 8 025.5 млн руб. – 25.7 % от стоимости насаждений до вспышки массового размножения сибирского шелкопряда.

**Ключевые слова:** таксовая стоимость древесины, значимость экосистемных функций насаждения, стоимость насаждения, ущерб от поражения сибирским шелкопрядом.

DOI: 10.15372/SJFS20240203

### ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации от вредителей и болезней в среднем ежегодно погибает 25.3 тыс. га леса (Денисов, 2003). Наиболее чувствительны к дефолиации хвойные леса, где основной вредитель хвойных лесов России – сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov). В частности, вследствие его массового размножения в конце 70-х годов XX в. площадь усохших лесов в России составила 110 тыс. га, в середине

90-х годов – 200 тыс. га. В течение XX столетия от этого вредителя в Азиатской России погибло 20 млн га кедровых, пихтовых и лиственничных древостоев (Рожков, 1965; Гниненко, 2003). Вспышки массового размножения шелкопряда повторяются через 12–14 лет. Так, на территории Красноярского края с конца XIX в. наблюдались 9 вспышек, охвативших 10 млн га. В период наиболее интенсивной вспышки 1950-х годов в крае погибло более 1 млн га темнохвойных лесов (Баранчиков и др. 2001). По данным Центра за-

щиты леса Красноярского края, во время вспышки сибирского шелкопряда в 1995–1996 гг. площадь поражения составляла 780 268 га, потеря древесины – 78,8 тыс. м<sup>3</sup>.

Вопросы управления лесами, решение задач экологического мониторинга и лесопользования предполагают оценку ущерба, наносимого лесным экосистемам внешними воздействиями. Его размер напрямую связан с таксационными показателями и равен разности стоимости насаждения до воздействия и после воздействия. При этом стоимость насаждений может выявляться посредством несовпадающих методических подходов. Выбор метода диктуется спецификой решаемых задач. Как следствие, результаты расчетов могут расходиться. Не совпадают и результаты расчетов по утвержденным методикам стоимостной оценки лесов, что связано с неопределенностью используемых оценочных показателей.

Методика экономической оценки лесов (Приказ..., 2000) предполагает определение кадастровой оценки участков лесного фонда с учетом представлений о лесе как совокупности лесной растительности, земли, животного мира и других компонентов окружающей природной среды. Общая стоимость участка лесных земель принимается равной капитализированной ренте, которая может быть получена при выращивании эталонных насаждений. При этом стоимость древесины на корню эталонного насаждения, а равно и стоимость других лесных ресурсов эталонного насаждения определяются по ставкам лесных податей.

Кадастровая стоимость лесных земель Красноярского края учитывает стоимость древесины на корню, стоимость лесных ресурсов побочного пользования, стоимость полезных природных функций леса, а также расходы на воспроизводство лесов (Постановление..., 2009). Стоимость древесины на корню определяется для фактического запаса на участке по ставкам лесных податей. Стоимость других полезностей леса учитывается посредством корректирующих коэффициентов, дифференцированных по типам лесорастительных условий.

Методика государственной кадастровой оценки земель лесного фонда Российской Федерации (Приказ..., 2002) стоимость леса рассматривает как функцию продуктивности древесины. Неименованные ресурсные и экологические функции лесных земель здесь игнорируются.

Таким образом, экономическая оценка насаждений как в федеральном, так и в краевом вариантах методик подразделяется на определе-

ние стоимости древесины на корню и стоимости других полезностей леса. При этом стоимость древесины рассчитывается по ставкам лесных податей, т. е. с получением сбалансированного по лесным районам результата, который практикой материально денежных оценок принят и не оспаривается. Что касается других полезностей леса – экологических функций и неименованных лесных ресурсов, то их стоимостное представление не имеет в основе надежной гипотезы, и результаты расчетов всегда можно поставить под сомнение. Причем оценка стоимости лесов по вышеперечисленным методикам трудоемка и отличается неопределенностью. Кроме того, эти методики требуют наличия не только материалов лесоустройства, но и дополнительной ведомственной информации. Фактически же достоверную информацию можно получить только об объемах заготовленной древесины. Следует признать, что для решения лесоэкономических задач существующие методы сложны и зачастую трудно применимы.

Определение стоимости насаждения – актуальная научно-производственная задача, до настоящего времени не нашедшая однозначного и тем более общепринятого решения. Цель настоящей работы – обсудить возможный вариант определения ущерба лесным экосистемам Красноярского края при поражении сибирским шелкопрядом в 2016–2018 гг.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стоимость – это результат соглашения, зависящий от спроса и предложения, а также нестабильности денежного курса, поэтому она не может быть постоянной. Равно это относится и к стоимости лесных экосистем (насаждений). На вопрос о реальной стоимости на момент времени отвечает рынок. Существует и нормативно установленная стоимость. По отношению к древесине – это так называемая таксовая стоимость, которая за неимением лучших вариантов широко используется в лесной отрасли экономики. Что касается неименованных лесных услуг (функций), то для них общепризнанных ставок лесных податей нет. Получается, имеем вполне определенные и сбалансированные таксы на древесину и неопределенные представления о стоимости неименованных экосистемных услуг. Возможно, аналогичные пропорции существуют не только для такс на древесину, но также между значимостью (и стоимостью) всех других полезностей леса. Принимая такого рода предположе-

ние, мы сможем определить стоимость лесных благ по долевному соотношению их значимости.

Согласно Г. А. Прешкину (2010), выбор метода определения стоимости «лесных благ» диктуется спецификой решаемых задач. Если стоимость насаждения рассматривать как сумму отдельных экологических и ресурсных функций, то из перечня подходит так называемый «модульный метод», предполагающий дифференциацию «лесных благ». Он используется для приближенной оценки экологической стоимости лесных территорий при недостатке исходной информации. Применительно к оценке стоимости лесных экосистемных функций, модульный метод требует определенной адаптации. Вначале следует сформировать перечень модулей (для насаждения – наиболее значимых экосистемных функций), далее выявить их долевого вклад (значимость) и, наконец, относительно известной стоимости произвести расчет стоимости других (учитываемых) экосистемных услуг. С. К. Фарбер с соавт. (2021) показали возможность получения стоимости экологических функций для деревьев и кустарников городских посадок. По результатам найденных соотношений между относительной значимостью экологических функций их стоимость рассчитывалась как доля от годового бюджета города. При этом переход к стоимости дерева (кустарника) был проведен относительно рыночной цены углекислого газа. Ситуация с экосистемными функциями насаждения во многом аналогична.

Общая стоимость насаждения есть сумма стоимости отдельных экологических и ресурсных функций. Можно записать  $C = \sum C_i$ , где  $C_i$  – стоимость  $i$ -й экосистемной функции. При наличии долевого соотношения их относительной значимости переход к стоимости легко осуществляется по известной стоимости одной из экосистемных функций. Наиболее удобный вариант – использование для этой цели нормативно установленной таксовой стоимости древесины. При этом сбалансированность такс на древесину сохраняется и распространяется в том числе на стоимость других ресурсных и экологических составляющих насаждения. Для расчетов требуется следующая исходная информация:

- перечень экосистемных функций (выявляется на основе анализа литературных источников);
- доленое соотношение относительной значимости экосистемных функций (выявляется посредством экспертных оценок);
- результаты расчетов средних значений диаметров пород деревьев и запасов древостоев;

– сведения о площадях лесотаксационных выделов по категориям защитности.

Посредством использования модульного метода относительную (относительно такс на древесину) стоимость отдельных экосистемных функций и, далее, общую стоимость насаждения (насаждений лесного участка) получаем в двух вариантах – до и после внешнего воздействия. Такого рода результат можно интерпретировать как таксовую стоимость экосистемных функций и насаждения в целом. Разность стоимости до и после внешнего воздействия принимается в качестве размера ущерба.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для расчета стоимости насаждений и далее ущерба в качестве исходных материалов служили данные таксационных описаний насаждений выделов лесничеств, представленные в табличной форме. По категориям лесов – защитные, эксплуатационные, резервные – получены средние значения таксационных показателей древостоев. Средний запас (на выделах), оставшийся после поражения, определен по данным мониторинга (табл. 1).

Сведения о полностью погибших насаждениях в исходных материалах отсутствуют, что объясняется схемой сбора мониторинговых данных, при которой древостои распределяются по группам с нормативной градацией гибели (усыхания) в процентах: до 4; 4.1–10; 10.1–40; более 40.1. В действительности же полностью погибшие насаждения на площади поражения существуют, но учтены они в группе более 40.1 %. Ущерб для погибших насаждений можно принять равным 100 %. Однако защитные, регулирующие, и некоторые ресурсные функции в определенной мере будут выполняться и далее, но уже не насаждением, а травяно-кустарниковой растительностью. Насколько хуже или лучше – вопрос остается открытым. Литературные сведения, например о снижении эрозии почв насаждениями (Матвеев, Матвеева, 2014), регуляции микроклимата (Молчанов, 1968, 1973; Горохов, 1991) носят локальный характер и их обобщение – отдельная и достаточно трудновыполнимая задача.

Таксовая стоимость древесины рассчитана в упрощенном варианте по преобладающим породам. Для этого достаточно информации о средних значениях диаметров и запасов, а также информации о площадях, занимаемых защитными, эксплуатационными и резервными лесами

Таблица 1. Площадь и средние таксационные показатели древостоев на пораженных вредителем участках

| Категория лесов                      | Насаждение     | Число выделов, шт. | Суммарная площадь пораженного древостоя, га | Средний      |             |                           |                 |
|--------------------------------------|----------------|--------------------|---|--------------|-------------|---------------------------|-----------------|
|                                      |                |                    |   | возраст, лет | диаметр, см | запас, м <sup>3</sup> /га |                 |
|                                      |                |                    |   |              |             | до поражения              | после поражения |
| <i>Енисейское лесничество</i>        |                |                    |   |              |             |                           |                 |
| Защитные                             | Сосняки        | 430                | 8403.7                                      | 154          | 23.1        | 159                       | 119             |
|                                      | Лиственничники | 3                  | 42  | 130          | 25.3        | 140                       | 105             |
|                                      | Кедровники     | 3884               | 115952                                      | 219          | 32.5        | 235                       | 175             |
|                                      | Ельники        | 2600               | 56190                                       | 143          | 24.9        | 182                       | 135             |
|                                      | Пихтарники     | 1456               | 26216.7                                     | 107          | 20.2        | 164                       | 121             |
|                                      | Березняки      | 1367               | 25617.7                                     | 84           | 20.1        | 137                       | 102             |
|                                      | Осинники       | 178                | 2961  | 88           | 27.7        | 172                       | 129             |
|                                      | Ивняки         | 1                  | 9   | 35           | 8.0         | 30                        | 22.5            |
| Эксплуатационные                     | Сосняки        | 1239               | 31818                                       | 160          | 24.7        | 160                       | 120             |
|                                      | Лиственничники | 12                 | 208   | 114          | 16.8        | 109                       | 82              |
|                                      | Кедровники     | 6730               | 231427                                      | 214          | 32.0        | 233                       | 174             |
|                                      | Ельники        | 5684               | 189079                                      | 145          | 25.6        | 209                       | 151             |
|                                      | Пихтарники     | 8170               | 289691.5                                    | 99           | 19.0        | 168                       | 123             |
|                                      | Березняки      | 5460               | 247589                                      | 91           | 22.4        | 150                       | 113             |
|                                      | Осинники       | 1583               | 66646                                       | 99           | 31.4        | 186                       | 139             |
| Резервные                            | Пихтарники     | 13                 | 543   | 58           | 12.5        | 135                       | 133             |
|                                      | Березняки      | 2                  | 27  | 58           | 17.0        | 110                       | 108             |
| <i>Нижне-Енисейское лесничество</i>  |                |                    |   |              |             |                           |                 |
| Защитные                             | Сосняки        | 478                | 15099                                       | 149          | 25.0        | 172                       | 129             |
|                                      | Лиственничники | 38                 | 765   | 229          | 37.9        | 211                       | 158             |
|                                      | Кедровники     | 7347               | 322533                                      | 216          | 31.3        | 261                       | 195             |
|                                      | Ельники        | 888                | 28668                                       | 161          | 26.0        | 199                       | 146             |
|                                      | Пихтарники     | 642                | 20542                                       | 125          | 21.1        | 191                       | 137             |
|                                      | Березняки      | 397                | 14854                                       | 70           | 17.0        | 116                       | 86              |
|                                      | Осинники       | 44                 | 1144  | 93           | 29.5        | 191                       | 141             |
| Эксплуатационные                     | Сосняки        | 892                | 32811                                       | 164          | 24.6        | 158                       | 118             |
|                                      | Лиственничники | 89                 | 4055  | 192          | 33.1        | 234                       | 174             |
|                                      | Кедровники     | 748                | 31770                                       | 198          | 29.7        | 276                       | 187             |
|                                      | Ельники        | 1946               | 82640                                       | 161          | 25.8        | 216                       | 157             |
|                                      | Пихтарники     | 1842               | 82092                                       | 126          | 20.6        | 192                       | 140             |
|                                      | Березняки      | 698                | 37474                                       | 71           | 17.4        | 130                       | 97              |
|                                      | Осинники       | 350                | 18649                                       | 109          | 33.5        | 214                       | 161             |
| Резервные                            | Сосняки        | 6                  | 319   | 160          | 23.0        | 173                       | 130             |
|                                      | Кедровники     | 125                | 9449  | 216          | 31.5        | 269                       | 199             |
|                                      | Ельники        | 25                 | 1336  | 166          | 23.9        | 208                       | 151             |
|                                      | Пихтарники     | 63                 | 2573  | 116          | 18.5        | 174                       | 129             |
|                                      | Березняки      | 8                  | 780   | 111          | 18.5        | 130                       | 98              |
|                                      | Осинники       | 9                  | 1253  | 128          | 32.4        | 262                       | 197             |
| <i>Северо-Енисейское лесничество</i> |                |                    |   |              |             |                           |                 |
| Защитные                             | Лиственничники | 1                  | 16  | 130          | 26.0        | 140                       | 105             |
|                                      | Кедровники     | 28                 | 1137  | 217          | 34.7        | 222                       | 166             |
|                                      | Ельники        | 22                 | 709   | 153          | 20.1        | 155                       | 119             |
|                                      | Пихтарники     | 47                 | 1469  | 128          | 20.8        | 167                       | 126             |
|                                      | Березняки      | 21                 | 558   | 99           | 20.2        | 135                       | 103             |
|                                      | Осинники       | 5                  | 136   | 102          | 35.2        | 238                       | 178             |
| Эксплуатационные                     | Кедровники     | 103                | 4205  | 233          | 35.2        | 218                       | 165             |
|                                      | Ельники        | 68                 | 1717  | 150          | 24.6        | 175                       | 132             |
|                                      | Пихтарники     | 261                | 12082                                       | 123          | 21.0        | 175                       | 132             |
|                                      | Березняки      | 73                 | 3594  | 95           | 21.4        | 146                       | 111             |
|                                      | Осинники       | 38                 | 1450  | 114          | 33.9        | 217                       | 163             |
| Резервные                            | Кедровники     | 13                 | 623   | 266          | 41.2        | 221                       | 174             |
|                                      | Ельники        | 29                 | 1193  | 171          | 21.4        | 161                       | 119             |
|                                      | Пихтарники     | 68                 | 3267  | 160          | 20.6        | 174                       | 128             |
|                                      | Березняки      | 24                 | 1272  | 100          | 17.8        | 124                       | 97              |

лесничеств. Количество деловой (по классам крупности) и дровяной древесины определено по товарным таблицам (Анучин, 1981). Сам расчет проведен по таксам шестого Восточно-Сибирского лесотаксового района при расстоянии вывозки 10.1–25 км (Постановление..., 2007). Для хвойных пород деревьев использован 1-й класс товарности, лиственных – 3-й.

Результаты расчетов по лесничествам, экосистемным функциям, насаждениям сведены в табл. 2, 3, которые содержат следующую информацию:

- стоимость экосистемных функций насаждений до воздействия  $C_1$  и после воздействия  $C_2$ ;
- размер ущерба от поражения сибирским шелкопрядом  $C_1-C_2$  в рублях и процентах.

**Таблица 2.** Стоимость насаждений (руб./га) до вспышки сибирского шелкопряда

| Экосистемные функции           | Значимость, доля | Сосняки      | Лиственничники | Кедровники    | Ельники      | Пихтарники   | Березняки   | Осинники    |
|--------------------------------|------------------|--------------|----------------|---------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 1                              | 2                | 3            | 4              | 5             | 6            | 7            | 8           | 9           |
| <i>Енисейское лесничество</i>  |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| Защитные леса                  |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| Защитные:                      |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| вод                            | 0.35             | 18151        | 11725          | 37233         | 18511        | 14514        | 2828        | 585         |
| почв                           | 0.2              | 10372        | 6700           | 21276         | 10578        | 8294         | 1616        | 334         |
| нерестилиц                     | 0.05             | 2593         | 1675           | 5319          | 2644         | 2073         | 404         | 84          |
| биоразнообразии                | 0.05             | 2593         | 1675           | 5319          | 2644         | 2073         | 404         | 84          |
| Регулирующие:                  |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| климат                         | 0.05             | 2593         | 1675           | 5319          | 2645         | 2074         | 404         | 84          |
| экологическое равновесие       | 0.05             | 2593         | 1675           | 5319          | 2645         | 2074         | 404         | 84          |
| Ресурсные:                     |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| древесина                      | 0.1              | 5186         | 3350           | 10638         | 5289         | 4147         | 808         | 167         |
| побочное пользование           | 0.05             | 2593         | 1675           | 5319          | 2645         | 2074         | 404         | 84          |
| охотпользование                | 0.1              | 5186         | 3350           | 10638         | 5289         | 4147         | 808         | 167         |
| <b>Итого, руб./га</b>          |                  | <b>51860</b> | <b>33500</b>   | <b>106380</b> | <b>52890</b> | <b>41470</b> | <b>8080</b> | <b>1673</b> |
| На площадь поражения, млн руб. |                  | 435.816      | 1.407          | 12334.974     | 2971.889     | 1087.207     | 206.991     | 4.954       |
| Эксплуатационные леса          |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| Защитные:                      |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| вод                            | 0.02             | 161          | 55             | 325           | 197          | 131          | 29          | 5           |
| почв                           | 0.03             | 241          | 82             | 487           | 296          | 196          | 44          | 8           |
| нерестилиц                     | 0                | 0            | 0              | 0             | 0            | 0            | 0           | 0           |
| биоразнообразии                | 0.05             | 401          | 137            | 811           | 493          | 327          | 73          | 13          |
| Регулирующие:                  |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| климат                         | 0.05             | 401          | 137            | 811           | 493          | 327          | 73          | 13          |
| экологическое равновесие       | 0.05             | 401          | 137            | 811           | 493          | 327          | 73          | 13          |
| Ресурсные:                     |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| древесина                      | 0.65             | 5218         | 1778           | 10548         | 6407         | 4248         | 946         | 170         |
| побочное пользование           | 0.05             | 401          | 137            | 811           | 493          | 327          | 73          | 13          |
| охотпользование                | 0.1              | 803          | 274            | 1623          | 986          | 654          | 146         | 26          |
| <b>Итого, руб./га</b>          |                  | <b>8027</b>  | <b>2737</b>    | <b>16227</b>  | <b>9858</b>  | <b>6537</b>  | <b>1457</b> | <b>261</b>  |
| На площадь поражения, млн руб. |                  | 255.403      | 0.569          | 3755.366      | 1863.941     | 1893.713     | 360.737     | 17.395      |
| Резервные леса                 |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| Защитные:                      |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| вод                            | 0.02             |              |                |               |              | 57           | 18          |             |
| почв                           | 0.03             |              |                |               |              | 86           | 27          |             |
| нерестилиц                     | 0                |              |                |               |              | 0            | 0           |             |
| биоразнообразии                | 0.05             |              |                |               |              | 143          | 45          |             |
| Регулирующие:                  |                  |              |                |               |              |              |             |             |
| климат                         | 0.05             |              |                |               |              | 143          | 45          |             |
| экологическое равновесие       | 0.05             |              |                |               |              | 143          | 45          |             |

Продолжение табл. 2

| 1                                     | 2    | 3       | 4      | 5         | 6        | 7       | 8       | 9      |
|---------------------------------------|------|---------|--------|-----------|----------|---------|---------|--------|
| Ресурсные:                            |      |         |        |           |          |         |         |        |
| древесина                             | 0.65 |         |        |           |          | 1854    | 579     |        |
| побочное пользование                  | 0.05 |         |        |           |          | 143     | 45      |        |
| охотпользование                       | 0.1  |         |        |           |          | 285     | 89      |        |
| И т о г о, руб./га                    |      |         |        |           |          | 2854    | 893     |        |
| На площадь поражения,<br>млн руб.     |      |         |        |           |          | 1.550   | 0.024   |        |
| И т о г о по лесничеству,<br>млн руб. |      | 691.219 | 1.976  | 16090.34  | 4835.83  | 2982.47 | 567.752 | 22.349 |
| <i>Нижне-Енисейское лесничество</i>   |      |         |        |           |          |         |         |        |
| Защитные леса                         |      |         |        |           |          |         |         |        |
| Защитные:                             |      |         |        |           |          |         |         |        |
| вод                                   | 0.35 | 19635   | 20626  | 41353     | 21350    | 16905   | 2139    | 644    |
| почв                                  | 0.2  | 11220   | 11786  | 23630     | 12200    | 9660    | 1222    | 368    |
| нерестилиц                            | 0.05 | 2805    | 2947   | 5908      | 3050     | 2415    | 306     | 92     |
| биоразнообразии                       | 0.05 | 2805    | 2947   | 5908      | 3050     | 2415    | 306     | 92     |
| Регулирующие:                         |      |         |        |           |          |         |         |        |
| климат                                | 0.05 | 2805    | 2947   | 5908      | 3050     | 2415    | 306     | 92     |
| экологическое равновесие              | 0.05 | 2805    | 2947   | 5908      | 3050     | 2415    | 306     | 92     |
| Ресурсные:                            |      |         |        |           |          |         |         |        |
| древесина                             | 0.1  | 5610    | 5893   | 11815     | 6100     | 4830    | 611     | 184    |
| побочное пользование                  | 0.05 | 2805    | 2947   | 5908      | 3050     | 2415    | 306     | 92     |
| охотпользование                       | 0.1  | 5610    | 5893   | 11815     | 6100     | 4830    | 611     | 184    |
| И т о г о, руб./га                    |      | 56100   | 58933  | 118153    | 61000    | 48300   | 6113    | 1840   |
| На площадь поражения,<br>млн руб.     |      | 847.054 | 45.084 | 38108.242 | 1748.748 | 992.179 | 90.803  | 2.105  |
| Эксплуатационные леса                 |      |         |        |           |          |         |         |        |
| Защитные:                             |      |         |        |           |          |         |         |        |
| вод                                   | 0.02 | 159     | 199    | 372       | 204      | 149     | 21      | 6      |
| почв                                  | 0.03 | 238     | 299    | 559       | 306      | 224     | 32      | 8      |
| нерестилиц                            | 0    | 0       | 0      | 0         | 0        | 0       | 0       | 0      |
| биоразнообразии                       | 0.05 | 396     | 498    | 931       | 509      | 373     | 53      | 14     |
| Регулирующие:                         |      |         |        |           |          |         |         |        |
| климат                                | 0.05 | 396     | 498    | 931       | 509      | 373     | 53      | 14     |
| экологическое равновесие              | 0.05 | 396     | 498    | 931       | 509      | 373     | 53      | 14     |
| Ресурсные:                            |      |         |        |           |          |         |         |        |
| древесина                             | 0.65 | 5153    | 6469   | 12101     | 6621     | 4855    | 685     | 180    |
| побочное пользование                  | 0.05 | 396     | 498    | 931       | 509      | 373     | 53      | 14     |
| охотпользование                       | 0.1  | 793     | 995    | 1862      | 1019     | 747     | 105     | 28     |
| И т о г о, руб./га                    |      | 7927    | 9954   | 18618     | 10186    | 7467    | 1055    | 278    |
| На площадь поражения,<br>млн руб.     |      | 260.093 | 40.363 | 591.494   | 841.771  | 612.981 | 39.535  | 5.184  |
| Резервные леса                        |      |         |        |           |          |         |         |        |
| Защитные:                             |      |         |        |           |          |         | 21      | 7      |
| вод                                   | 0.02 | 173     |        | 375       | 186      | 122     | 32      | 11     |
| почв                                  | 0.03 | 259     |        | 562       | 279      | 182     | 0       | 0      |
| нерестилиц                            | 0    | 0       |        | 0         | 0        | 0       | 53      | 18     |
| биоразнообразии                       | 0.05 | 432     |        | 937       | 465      | 304     | 53      | 18     |
| Регулирующие:                         |      |         |        |           |          |         |         |        |
| климат                                | 0.05 | 432     |        | 937       | 465      | 304     | 53      | 18     |
| экологическое равновесие              | 0.05 | 432     |        | 937       | 465      | 304     | 685     | 240    |
| Ресурсные:                            |      |         |        |           |          |         |         |        |
| древесина                             | 0.65 | 5622    |        | 12177     | 6045     | 3953    |         |        |
| побочное пользование                  | 0.05 | 432     |        | 937       | 465      | 304     | 53      | 18     |
| охотпользование                       | 0.1  | 865     |        | 1873      | 930      | 608     | 105     | 37     |
| И т о г о, руб./га                    |      | 8647    |        | 18735     | 9300     | 6081    | 1055    | 367    |

Окончание табл. 2

| 1                                    | 2    | 3        | 4      | 5         | 6        | 7        | 8       | 9      |
|--------------------------------------|------|----------|--------|-----------|----------|----------|---------|--------|
| На площадь поражения, млн руб.       |      | 2.758    |        | 177.027   | 12.425   | 15.646   | 0.823   | 0.460  |
| И т о г о по лесничеству, млн руб.   |      | 1109.905 | 85.447 | 38876.762 | 2602.944 | 1620.806 | 131.160 | 7.749  |
| <i>Северо-Енисейское лесничество</i> |      |          |        |           |          |          |         |        |
| Защитные леса                        |      |          |        |           |          |          |         |        |
| Защитные:                            |      |          |        |           |          |          |         |        |
| вод                                  | 0.35 |          | 11725  | 35683     | 13881    | 14781    | 2793    | 679    |
| почв                                 | 0.2  |          | 6700   | 20390     | 7932     | 8446     | 1596    | 388    |
| нерестилиц                           | 0.05 |          | 1675   | 5098      | 1983     | 2112     | 399     | 97     |
| биоразнообразии                      | 0.05 |          | 1675   | 5098      | 1983     | 2112     | 399     | 97     |
| Регулирующие:                        |      |          |        |           |          |          |         |        |
| климат                               | 0.05 |          | 1675   | 5098      | 1983     | 2112     | 399     | 97     |
| экологическое равновесие             | 0.05 |          | 1675   | 5098      | 1983     | 2112     | 399     | 97     |
| Ресурсные:                           |      |          |        |           |          |          |         |        |
| древесина                            | 0.1  |          | 3350   | 10195     | 3966     | 4223     | 798     | 194    |
| побочное пользование                 | 0.05 |          | 1675   | 5098      | 1983     | 2112     | 399     | 97     |
| охотпользование                      | 0.1  |          | 3350   | 10195     | 3966     | 4223     | 798     | 194    |
| И т о г о, руб./га                   |      |          | 33500  | 101953    | 39660    | 42233    | 7980    | 1940   |
| На площадь поражения, млн руб.       |      |          | 0.536  | 115.921   | 28.119   | 62.040   | 4.453   | 0.264  |
| Эксплуатационные леса                |      |          |        |           |          |          |         |        |
| Защитные:                            |      |          |        |           |          |          |         |        |
| вод                                  | 0.02 |          |        | 312       | 156      | 136      | 28      | 6      |
| почв                                 | 0.03 |          |        | 469       | 235      | 204      | 42      | 8      |
| нерестилиц                           | 0    |          |        | 0         | 0        | 0        | 0       | 0      |
| биоразнообразии                      | 0.05 |          |        | 781       | 391      | 340      | 71      | 14     |
| Регулирующие:                        |      |          |        |           |          |          |         |        |
| климат                               | 0.05 |          |        | 781       | 391      | 340      | 71      | 14     |
| экологическое равновесие             | 0.05 |          |        | 781       | 391      | 340      | 71      | 14     |
| Ресурсные:                           |      |          |        |           |          |          |         |        |
| древесина                            | 0.65 |          |        | 10154     | 5086     | 4425     | 920     | 183    |
| побочное пользование                 | 0.05 |          |        | 781       | 391      | 340      | 71      | 14     |
| охотпользование                      | 0.1  |          |        | 1562      | 782      | 681      | 142     | 28     |
| И т о г о, руб./га                   |      |          |        | 15621     | 7823     | 6806     | 1416    | 281    |
| На площадь поражения, млн руб.       |      |          |        | 65.686    | 13.432   | 82.230   | 5.089   | 0.407  |
| Резервные леса                       |      |          |        |           |          |          |         |        |
| Защитные:                            |      |          |        |           |          |          |         |        |
| вод                                  | 0.02 |          |        | 36855     | 15460    | 15400    | 2286    |        |
| почв                                 | 0.03 |          |        | 21060     | 8834     | 8800     | 1306    |        |
| нерестилиц                           | 0    |          |        | 5265      | 2209     | 2200     | 327     |        |
| биоразнообразии                      | 0.05 |          |        | 5265      | 2209     | 2200     | 327     |        |
| Регулирующие:                        |      |          |        |           |          |          |         |        |
| климат                               | 0.05 |          |        | 5265      | 2209     | 2200     | 327     |        |
| экологическое равновесие             | 0.05 |          |        | 5265      | 2209     | 2200     | 327     |        |
| Ресурсные:                           |      |          |        |           |          |          |         |        |
| древесина                            | 0.65 |          |        | 10530     | 4417     | 4400     | 653     |        |
| побочное пользование                 | 0.05 |          |        | 5265      | 2209     | 2200     | 327     |        |
| охотпользование                      | 0.1  |          |        | 10530     | 4417     | 4400     | 653     |        |
| И т о г о, руб./га                   |      |          |        | 105300    | 44173    | 44000    | 6533    |        |
| На площадь поражения, млн руб.       |      |          |        | 65.602    | 52.698   | 143.748  | 8.310   |        |
| И т о г о по лесничеству, млн руб.   |      |          | 0.536  | 247.209   | 94.249   | 288.018  | 17.852  | 0.671  |
| В с е г о по лесничествам, млн руб.  |      | 1801.124 | 87.959 | 55214.311 | 7533.023 | 4891.294 | 716.764 | 30.769 |

Таблица 3. Стоимость насаждений (руб./га) после вспышки сибирского шелкопряда

| Экосистемные функции                      | Значимость, доля | Сосняки        | Лиственничники | Кедровники       | Ельники         | Пихтарники       | Березняки       | Осинники     |
|---|------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------|
| 1   | 2                | 3              | 4              | 5                | 6               | 7                | 8               | 9            |
| <i>Енисейское лесничество</i>             |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| Защитные леса                             |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| Защитные:                                 |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| вод                                       | 0.35             | 13583          | 8792           | 27727            | 13730           | 10710            | 2111            | 441          |
| почв                                      | 0.2              | 7762           | 5024           | 15844            | 7846            | 6120             | 1206            | 252          |
| нерестилиц                                | 0.05             | 1940           | 1256           | 3961             | 1961            | 1530             | 302             | 63           |
| биоразнообразии                           | 0.05             | 1940           | 1256           | 3961             | 1961            | 1530             | 302             | 63           |
| Регулирующие:                             |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| климат                                    | 0.05             | 1941           | 1256           | 3961             | 1962            | 1530             | 302             | 63           |
| экологическое равновесие                  | 0.05             | 1941           | 1256           | 3961             | 1962            | 1530             | 302             | 63           |
| Ресурсные:                                |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| древесина                                 | 0.1              | 3881           | 2512           | 7922             | 3923            | 3060             | 603             | 126          |
| побочное пользование                      | 0.05             | 1941           | 1256           | 3961             | 1962            | 1530             | 302             | 63           |
| охотпользование                           | 0.1              | 3881           | 2512           | 7922             | 3923            | 3060             | 603             | 126          |
| <b>И т о г о, руб./га</b>                 |                  | <b>38810</b>   | <b>25120</b>   | <b>79220</b>     | <b>39230</b>    | <b>30600</b>     | <b>6033</b>     | <b>1260</b>  |
| На площадь поражения, млн руб.            |                  | 326.148        | 1.055          | 9185.717         | 2204.334        | 802.231          | 154.552         | 3.731        |
| Эксплуатационные леса                     |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| Защитные:                                 |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| вод                                       | 0.02             | 120            | 41             | 242              | 142             | 96               | 22              | 4            |
| почв                                      | 0.03             | 181            | 62             | 364              | 214             | 144              | 33              | 6            |
| нерестилиц                                | 0                | 0              | 0              | 0                | 0               | 0                | 0               | 0            |
| биоразнообразии                           | 0.05             | 301            | 103            | 606              | 356             | 239              | 55              | 10           |
| Регулирующие:                             |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| климат                                    | 0.05             | 301            | 103            | 606              | 356             | 239              | 55              | 10           |
| экологическое равновесие                  | 0.05             | 301            | 103            | 606              | 356             | 239              | 55              | 10           |
| Ресурсные:                                |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| древесина                                 | 0.65             | 3914           | 1338           | 7877             | 4629            | 3110             | 712             | 127          |
| побочное пользование                      | 0.05             | 301            | 103            | 606              | 356             | 239              | 55              | 10           |
| охотпользование                           | 0.1              | 602            | 206            | 1212             | 712             | 478              | 110             | 20           |
| <b>И т о г о, руб./га</b>                 |                  | <b>6021</b>    | <b>2059</b>    | <b>12119</b>     | <b>7121</b>     | <b>4784</b>      | <b>1097</b>     | <b>197</b>   |
| На площадь поражения, млн руб.            |                  | 191.576        | 0.428          | 2804.664         | 1346.432        | 1385.884         | 271.605         | 13.129       |
| Резервные леса                            |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| Защитные:                                 |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| вод                                       | 0.02             |                |                |                  |                 | 56               | 18              |              |
| почв                                      | 0.03             |                |                |                  |                 | 84               | 26              |              |
| нерестилиц                                | 0                |                |                |                  |                 | 0                | 0               |              |
| биоразнообразии                           | 0.05             |                |                |                  |                 | 140              | 44              |              |
| Регулирующие:                             |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| климат                                    | 0.05             |                |                |                  |                 | 140              | 44              |              |
| экологическое равновесие                  | 0.05             |                |                |                  |                 | 140              | 44              |              |
| Ресурсные:                                |                  |                |                |                  |                 |                  |                 |              |
| древесина                                 | 0.65             |                |                |                  |                 | 1826             | 569             |              |
| побочное пользование                      | 0.05             |                |                |                  |                 | 140              | 44              |              |
| охотпользование                           | 0.1              |                |                |                  |                 | 281              | 88              |              |
| <b>И т о г о, руб./га</b>                 |                  |                |                |                  |                 | <b>2807</b>      | <b>877</b>      |              |
| На площадь поражения, млн руб.            |                  |                |                |                  |                 | 1.5242           | 0.0237          |              |
| <b>И т о г о по лесничеству, млн руб.</b> |                  | <b>517.724</b> | <b>1.483</b>   | <b>11990.381</b> | <b>3550.766</b> | <b>2189.6392</b> | <b>426.1807</b> | <b>16.86</b> |

Продолжение табл. 3

| 1                                   | 2    | 3       | 4      | 5         | 6        | 7        | 8      | 9     |
|-------------------------------------|------|---------|--------|-----------|----------|----------|--------|-------|
| <i>Нижне-Енисейское лесничество</i> |      |         |        |           |          |          |        |       |
| Защитные леса                       |      |         |        |           |          |          |        |       |
| Защитные:                           |      |         |        |           |          |          |        |       |
| вод                                 | 0.35 | 14725   | 15446  | 30888     | 15663    | 12124    | 1586   | 476   |
| почв                                | 0.2  | 8414    | 8826   | 17650     | 8950     | 6928     | 906    | 272   |
| нерестилиц                          | 0.05 | 2104    | 2207   | 4413      | 2238     | 1732     | 227    | 68    |
| биоразнообразии                     | 0.05 | 2104    | 2207   | 4413      | 2238     | 1732     | 227    | 68    |
| Регулирующие:                       |      |         |        |           |          |          |        |       |
| климат                              | 0.05 | 2104    | 2207   | 4413      | 2238     | 1732     | 227    | 68    |
| экологическое равновесие            | 0.05 | 2104    | 2207   | 4413      | 2238     | 1732     | 227    | 68    |
| Ресурсные:                          |      |         |        |           |          |          |        |       |
| древесина                           | 0.1  | 4207    | 4413   | 8825      | 4475     | 3464     | 453    | 136   |
| побочное пользование                | 0.05 | 2104    | 2207   | 4413      | 2238     | 1732     | 227    | 68    |
| охотпользование                     | 0.1  | 4207    | 4413   | 8825      | 4475     | 3464     | 453    | 136   |
| И т о г о, руб./га                  |      | 42073   | 44133  | 88253     | 44753    | 34640    | 4533   | 1360  |
| На площадь поражения, млн руб.      |      | 635.260 | 33.762 | 28464.505 | 1282.979 | 711.575  | 67.333 | 1.556 |
| Эксплуатационные леса               |      |         |        |           |          |          |        |       |
| Защитные:                           |      |         |        |           |          |          |        |       |
| вод                                 | 0.02 | 118     | 148    | 252       | 148      | 109      | 16     | 4     |
| почв                                | 0.03 | 178     | 222    | 378       | 222      | 163      | 24     | 6     |
| нерестилиц                          | 0    | 0       | 0      | 0         | 0        | 0        | 0      | 0     |
| биоразнообразии                     | 0.05 | 296     | 370    | 631       | 370      | 272      | 39     | 10    |
| Регулирующие:                       |      |         |        |           |          |          |        |       |
| климат                              | 0.05 | 296     | 370    | 631       | 370      | 272      | 39     | 10    |
| экологическое равновесие            | 0.05 | 296     | 370    | 631       | 370      | 272      | 39     | 10    |
| Ресурсные:                          |      |         |        |           |          |          |        |       |
| древесина                           | 0.65 | 3849    | 4810   | 8199      | 4813     | 3540     | 511    | 136   |
| побочное пользование                | 0.05 | 296     | 370    | 631       | 370      | 272      | 39     | 10    |
| Ресурсные, охотпользование          | 0.1  | 592     | 740    | 1261      | 740      | 545      | 79     | 21    |
| И т о г о, руб./га                  |      | 5921    | 7400   | 12614     | 7403     | 5445     | 786    | 207   |
| На площадь поражения, млн руб.      |      | 194.274 | 30.007 | 400.747   | 611.784  | 446.991  | 29.455 | 3.860 |
| Резервные леса                      |      |         |        |           |          |          |        |       |
| Защитные:                           |      |         |        |           |          |          |        |       |
| вод                                 | 0.02 | 130     |        | 277       | 135      | 90       | 16     | 6     |
| почв                                | 0.03 | 196     |        | 416       | 203      | 135      | 24     | 8     |
| нерестилиц                          | 0    | 0       |        | 0         | 0        | 0        | 0      | 0     |
| биоразнообразии                     | 0.05 | 326     |        | 693       | 338      | 225      | 40     | 14    |
| Регулирующие:                       |      |         |        |           |          |          |        |       |
| климат                              | 0.05 | 326     |        | 693       | 338      | 225      | 40     | 14    |
| экологическое равновесие            | 0.05 | 326     |        | 693       | 338      | 225      | 40     | 14    |
| Ресурсные:                          |      |         |        |           |          |          |        |       |
| древесина                           | 0.65 | 4240    |        | 9009      | 4388     | 2931     | 516    | 180   |
| побочное пользование                | 0.05 | 326     |        | 693       | 338      | 225      | 40     | 14    |
| охотпользование                     | 0.1  | 652     |        | 1386      | 75       | 451      | 79     | 28    |
| И т о г о, руб./га                  |      | 6522    |        | 13860     | 6753     | 4507     | 795    | 278   |
| На площадь поражения, млн руб.      |      | 2.081   |        | 130.963   | 9.022    | 11.597   | 0.620  | 0.348 |
| И т о г о по лесничеству, млн руб.  |      | 831.615 | 63.769 | 28996.215 | 1903.785 | 1170.162 | 97.408 | 5.765 |

Окончание табл. 3

| 1  | 2    | 3        | 4      | 5         | 6        | 7         | 8        | 9     |
|--|------|----------|--------|-----------|----------|-----------|----------|-------|
| <i>Северо-Енисейское лесничество</i>               |      |          |        |           |          |           |          |       |
| Защитные леса                                      |      |          |        |           |          |           |          |       |
| Защитные:  |      |          |        |           |          |           |          |       |
| вод  | 0.35 |          | 8932   | 26681     | 10658    | 11151     | 2132     | 508   |
| почв   | 0.2  |          | 5104   | 15246     | 6090     | 6372      | 1218     | 290   |
| нерестилиц   | 0.05 |          | 1276   | 3812      | 1523     | 1593      | 305      | 73    |
| биоразнообразии                                    | 0.05 |          | 1276   | 3812      | 1523     | 1593      | 305      | 73    |
| Регулирующие:                                      |      |          |        |           |          |           |          |       |
| климат   | 0.05 |          | 1276   | 3812      | 1523     | 1593      | 305      | 73    |
| экологическое равновесие                           | 0.05 |          | 1276   | 3812      | 1523     | 1593      | 305      | 73    |
| Ресурсные:   |      |          |        |           |          |           |          |       |
| древесина  | 0.1  |          | 2552   | 7623      | 3045     | 3186      | 609      | 145   |
| побочное пользование                               | 0.05 |          | 1276   | 3812      | 1523     | 1593      | 305      | 73    |
| охотпользование                                    | 0.1  |          | 2552   | 7623      | 3045     | 3186      | 609      | 145   |
| И т о г о, руб./га                                 |      |          | 25520  | 76233     | 30453    | 31860     | 6093     | 1453  |
| На площадь поражения,<br>млн руб.                  |      |          | 0.408  | 86.677    | 21.591   | 46.802    | 3.400    | 0.198 |
| Эксплуатационные леса                              |      |          |        |           |          |           |          |       |
| Защитные:  |      |          |        |           |          |           |          |       |
| вод  | 0.02 |          |        | 236       | 118      | 103       | 22       | 4     |
| почв   | 0.03 |          |        | 355       | 177      | 154       | 32       | 6     |
| нерестилиц   | 0    |          |        | 0         | 0        | 0         | 0        | 0     |
| биоразнообразии                                    | 0.05 |          |        | 591       | 295      | 257       | 54       | 11    |
| Регулирующие:                                      |      |          |        |           |          |           |          |       |
| климат   | 0.05 |          |        | 591       | 295      | 257       | 54       | 11    |
| экологическое равновесие                           | 0.05 |          |        | 591       | 295      | 257       | 54       | 11    |
| Ресурсные:   |      |          |        |           |          |           |          |       |
| древесина  | 0.65 |          |        | 7685      | 3836     | 3338      | 700      | 137   |
| побочное пользование                               | 0.05 |          |        | 591       | 295      | 257       | 54       | 11    |
| охотпользование                                    | 0.1  |          |        | 1182      | 590      | 514       | 108      | 21    |
| И т о г о, руб./га                                 |      |          |        | 11822     | 5901     | 5137      | 1078     | 212   |
| На площадь поражения,<br>млн руб.                  |      |          |        | 49.712    | 10.132   | 62.065    | 3.874    | 0.307 |
| Резервные леса                                     |      |          |        |           |          |           |          |       |
| Защитные:  |      |          |        |           |          |           |          |       |
| вод  | 0.02 |          |        | 29015     | 11428    | 11330     | 1789     |       |
| почв   | 0.03 |          |        | 16580     | 6530     | 6474      | 1022     |       |
| нерестилиц   | 0    |          |        | 4145      | 1633     | 1619      | 256      |       |
| биоразнообразии                                    | 0.05 |          |        | 4145      | 1633     | 1619      | 256      |       |
| Регулирующие:                                      |      |          |        |           |          |           |          |       |
| климат   | 0.05 |          |        | 4145      | 1633     | 1619      | 256      |       |
| экологическое равновесие                           | 0.05 |          |        | 4145      | 1633     | 1619      | 256      |       |
| Ресурсные:   |      |          |        |           |          |           |          |       |
| древесина  | 0.65 |          |        | 8290      | 3265     | 3237      | 511      |       |
| побочное пользование                               | 0.05 |          |        | 4145      | 1633     | 1619      | 256      |       |
| охотпользование                                    | 0.1  |          |        | 8290      | 3265     | 3237      | 511      |       |
| И т о г о, руб./га                                 |      |          |        | 82900     | 32653    | 32373     | 5113     |       |
| На площадь поражения,<br>млн руб.                  |      |          |        | 51.647    | 38.955   | 105.763   | 6.504    |       |
| И т о г о по лесничеству,<br>млн руб.              |      |          | 0.408  | 188.035   | 70.678   | 214.630   | 13.778   | 0.505 |
| В с е г о по лесничествам,<br>млн руб.             |      | 1349.339 | 65.66  | 41174.631 | 5525.229 | 3574.4312 | 537.3667 | 23.13 |
| В с е г о ущерб $C_1-C_2$ ,<br>млн руб.            |      | 451.785  | 22.299 | 14039.68  | 2007.794 | 1316.8628 | 179.3973 | 7.639 |
| В с е г о ущерб<br>$((C_1-C_2)/C_1) \cdot 100, \%$ |      | 25.1     | 25.4   | 25.4      | 26.7     | 26.9      | 25.0     | 24.8  |

За рубежом стоимостной оценке лесов уделяется большое внимание (Costanza et al., 1997; Balmford et al., 2002). В СССР проблема стоимостной оценки лесов обсуждалась начиная с 60-х годов прошлого столетия: Госплан СССР на специальных совещаниях (1965, 1968 гг.); межвузовская конференция в Воронеже (1966 г.); журнал «Вопросы экономики» (1967–1969 гг.); совместная конференция Института экономики АН СССР и Центрального экономико-математического института АН СССР; совместная конференция секции лесного хозяйства ВАСХНИЛ, Литовской сельскохозяйственной академии и ряда организаций в Каунасе (1974 г.) (Тупыця, 1976). В настоящее время определение стоимости природных благ основано на затратных подходах, оценках дифференциальной ренты, балльных и нормативных методах. Общая экономическая стоимость экосистемных услуг включает стоимость использования (прямую и косвенную) и стоимость неиспользования. Но единого методического подхода не выработано (Бобылев и др., 2002). Для получения документации Государственного лесного реестра применяются методы, требующие наличия разносторонней информации и сложных расчетов рентной оценки, упущенной выгоды, остаточного дохода (Приказ..., 2002). Д. В. Касимов, В. Д. Касимов (2015) отмечают, что в России методы рыночной оценки природных ресурсов и экосистемных услуг апробируются пока только в рамках научных исследований. При этом большая часть опубликованных результатов неполно отражает стоимость экосистемных услуг, обычно же времени и возможностей было достаточно лишь для оценки какой-либо одной услуги. Согласно В. Н. Петрову с соавт. (2018), далеко не все экосистемные услуги могут быть измерены, и существующие методы их оценок нельзя назвать удобными для практики управления.

В России понятие «экосистемные услуги» в нормативно-справочной документации отсутствует. Исключение – защитные леса, в которых значимость водо- и почвозащитных свойств учитывается посредством ограничений в них лесопользования. Эксплуатация основных биоресурсов (лес, рыба, охота) также является объектом государственного регулирования (Бобылев, 2013). В целом состояние экологического мониторинга в России оценивается как неудовлетворительное. Наибольшее внимание уделяется показателям загрязнения среды. Однако система научно-методического обеспечения в

настоящее время разрушена, а порядок учета находится в состоянии реформирования. Полноценную и достоверную информацию о состоянии биоресурсов получить достаточно сложно. Происходит также и коммерциализация доступа к ведомственным данным, что не может оцениваться положительно (Хорошев, 2013).

Поиски вариантов экономической оценки лесов продолжаются (Бобылев и др., 2002). Однако количество сведений о стоимости экосистемных услуг в насаждениях следует признать пока незначительным. Отсюда следует, что фактические пропорции значимости между экосистемными функциями возможно выявить только на основании субъективных экспертных суждений. Именно поэтому составление перечня экосистемных функций и оценка их значимости были проведены в экспертном порядке. Из списка функций водоохранных лесов к наиболее значимым отнесены: защита вод, почв, биоразнообразия (флоры и фауны). В перечне представлены основные ресурсы насаждений (древесина, побочное пользование, охотпользование). При оценке долей значимости экосистемных функций принималось во внимание целевое назначение лесов, а также, что значимость функций защиты вод и почв в водоохранных лесах больше, чем для ресурсных функций. Допускаем, что значимость экосистемных функций и даже их перечень могут подвергаться критике и как следствие – корректироваться. Но будет оставаться главное – сама возможность оценки и редактирования долей значимости экосистемных функций, а значит и возможность достижения согласия, удовлетворяющего разновекторные интересы и мнения экспертов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесные ресурсы, обладающие именованными единицами измерения, имеют таксовую и рыночную цену. Для таких ресурсов расчет стоимости и ущерба от внешних воздействий сложности не представляет. Что же касается именованных экологических функций насаждения, а также именованных ресурсных функций (например, рекреационных), то их оценка в заключениях специалистов зачастую имеет вербальный уровень обобщений и основывается на собственном опыте и знаниях. При этом очевидно, что объективной может считаться только количественная стоимостная оценка, а выводы все же требуют подкрепления «цифрой».

В настоящее время таксовая стоимость древесины продолжает оставаться основным показателем, на основе которого рассчитывается кадастровая стоимость лесов, составляются пакет документации лесного реестра и иные справочные лесоэкономические материалы. В том числе таксовая стоимость древесины используется в качестве нормативного показателя для оценки лесных ресурсов при определении платы за лесопользование (отпуска леса на корню, арендной платы). Абсолютно аналогичную роль может выполнять и относительная таксовая стоимость насаждения, но с очевидным преимуществом – возможностью учета неименованных лесных экосистемных функций. Стоимость экосистемных функций, получаемая по отношению к таксовой стоимости древесины, в полной мере сохраняет фиксированные в таксах на древесину пропорции между породами деревьев, местоположением и товарной структурой. Это позволяет рассматривать ее как нормативную. При этом полностью сохраняются как недостатки, так и достоинства таксовых нормативов на древесину, но появляется обоснование и возможность увеличения на порядок размера платы за виды лесопользования.

Посредством сравнения стоимости насаждения до и после внешнего воздействия решается задача оценки ущерба от рубок, пожаров, вредителей леса. Его можно рассчитать как для насаждений, так и для лесного массива в целом. В настоящей работе показана возможность получения размера ущерба от вспышки массового размножения сибирского шелкопряда в южно-таежных лесах Красноярского края в 2016–2018 гг. На площади поражения 803 983 га ущерб лесам составил 18 025.5 млн руб. Методика расчета требует только данных массовой таксации.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта по государственному заданию FWES-2024-0007.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анучин Н. П. Сортиментные и товарные таблицы. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 536 с.  
 Баранчиков Ю. Н., Кондаков Ю. П., Петренко Е. С. Катастрофические вспышки массового размножения шелкопряда в лесах Красноярского края // Безопасность России. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. М.: МГФ «Знание», 2001. С. 146–167.  
 Бобылев С. Н. Краткая характеристика современной практики управления данной группой экосистемных услуг

в России // Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги. Status Quo Report. М.: Центр охраны дикой природы, 2013. С. 39–42.  
 Бобылев С. Н., Медведева О. Е., Соловьева С. В. Экономика сохранения биоразнообразия. М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия Российской Федерации», Ин-т экон. природопольз., 2002. 604 с.  
 Гниненко Ю. И. Вспышки массового размножения лесных насекомых в лесах Сибири и на Дальнем Востоке в последней четверти XX века // Лесохоз. информ. 2003. № 1. С. 46–57.  
 Горохов В. А. Городское зеленое строительство: Учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1991. 416 с.  
 Денисов Б. С. Современные проблемы защиты леса // Лесохоз. информ. 2003. № 2. С. 23–25.  
 Касимов Д. В., Касимов В. Д. Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования. М.: Мир науки, 2015. 91 с.  
 Матвеев А. М., Матвеева Т. А. Задержание осадков кронами древесных пород // Усп. совр. естествозн. 2014. № 5-1. С. 220–223.  
 Молчанов А. А. Лес и окружающая среда. М.: Наука, 1968. 246 с.  
 Молчанов А. А. Влияние леса на окружающую среду. М.: Наука, 1973. 357 с.  
 Петров В. Н., Каткова Т. Е., Карвинен С. Сравнительный анализ экономических показателей лесного хозяйства России и Финляндии // Экон. журн. ВШЭ. 2018. Т. 22. № 2. С. 294–319.  
 Постановление Правительства РФ от 22.05.2007 № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности». М.: Правительство РФ, 2007.  
 Постановление Правительства Красноярского края от 07.04.2009 № 178-п «Об утверждении кадастровой стоимости 1 гектара лесных земель лесного фонда на территории Красноярского края». Красноярск: Правительство Красноярского края, 2009.  
 Преишкин Г. А. Затратный подход к оценке лесных благ // Лесн. вестн. 2010. № 5. С. 203–208.  
 Приказ Федеральной службы лесного хозяйства России от 10.03.2000 № 43 «Об утверждении Методики экономической оценки лесов». М.: Фед. служба лесн. хоз-ва России, 2000.  
 Приказ Федеральной службы земельного кадастра России «Об утверждении Методики государственной кадастровой оценки земель лесного фонда Российской Федерации» от 17.10.2002 № П/336. М.: Росземкадастр, 2002.  
 Рожков А. С. Вспышки массового размножения сибирского шелкопряда. М.: Изд-во АН СССР, 1965. 165 с.  
 Тупыця Ю. Ю. Экономические проблемы комплексного использования и охраны лесных ресурсов (Вопросы теории). Киев: Вища школа, 1976. 215 с.  
 Фарбер С. К., Злобин Д. В., Кузьмик Н. С. Оценка экологических функций городских посадок // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4. № 2. С. 166–170.  
 Хорошев А. В. Анализ имеющихся данных для подготовки прототипа // Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги. Status Quo Report. М.: Центр охраны дикой природы, 2013. С. 26–38.

Balmford A., Bruner A., Cooper P., Costanza R., Farber S., Green R. E., Jenkins M., Jefferiss P., Jessamy V., Madden J., Munro K., Myers N., Naeem S., Paavola J., Raymond M., Rosendo S., Roughgarden J., Trumper K., Turner R. K. Economic reasons for conserving wild nature // Science. 2002. V. 297. N. 5583. P. 950–953.

Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital // Nature. 1997. V. 387. Iss. 15. P. 253–260.

## DETERMINATION OF DAMAGE TO FOREST ECOSYSTEMS DISTURBED BY SIBERIAN SILK MOTH

S. K. Farber<sup>1</sup>, V. V. Soldatov<sup>2</sup>, N. S. Kuzmik<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Center of Forest Protection of Krasnoyarsk Krai, Branch of the Russian Center of Forest Protection Akademgorodok, 50a/2, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

---

E-mail: sfarber@ksc.krasn.ru, soldatovv@rcfh.ru, kuzmik@ksc.krasn.ru

It is accepted that the amount of damage is equal to the difference in the value of the stands before and after the external impact. Hence, the task of determining damage comes down to identifying the cost of the stands. It is shown that the cost can be represented as the sum of the ecosystem (ecological and resource) functions of the stands. The calculation is performed relative to a specific function, the cost of which is known. As such a function, a wood resource was used, which, in the form of a tax rate of payment, is balanced by location, tree species, marketability classes and is widely used as a standard indicator in setting fees for forest use. The sequence of damage calculations is demonstrated using the example of the southern taiga forests of the Yenisei, Nizhne-Yenisei, and North Yenisei forest districts of Krasnoyarsk Krai. There was an outbreak of Siberian silkworm (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov) here between 2016 and 2018. The area with varying degrees of damage to stands amounted to 803,983 hectares. The total area of forest inventory units where tree stand death was recorded is 2,034,665 hectares. To calculate the damage, mass forest survey materials were used as initial data. Descriptions of forest inventory units were analyzed separately for protective, operational and reserve forests. Calculations were made based on the predominant tree species. The cost of protective forests turned out to be more than operational ones, and the cost of ecosystem functions of the stands turned out to be an order of magnitude higher than the tax value of the wood resource. The total cost of stands before the Siberian silkworm outbreak was determined to be 70,275.2 million rubles, after the outbreak – 52,249.8 million rubles. The total damage to forests amounted to 18,025.5 million rubles – 25.7 % of the cost of stands before the Siberian silkworm outbreak.

**Keywords:** tax value of wood, significance of ecosystem functions of the stands, cost of the stands, losses from Siberian moth's damage.

**How to cite:** Farber S. K., Soldatov V. V., Kuzmik N. S. Determination of damage to forest ecosystems disturbed by Siberian silk moth // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 21–33 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630.266:630.181.7:631.6(571.513)

## ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ И ЛЕСОВОДСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС В КОЙБАЛЬСКОЙ СТЕПИ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

А. И. Лобанов<sup>1</sup>, Н. В. Кутькина<sup>1</sup>, М. А. Мартынова<sup>1</sup>, В. Е. Мулява<sup>2</sup>, В. В. Мулява<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН 655132, Республика Хакасия, Усть-Абаканский р-он, с. Зеленое, ул. Садовая, 5

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

E-mail: anatoly-lobanov@ksc.krasn.ru, cutcina19@mail.ru, artemisiadracun61@mail.ru, sibhoney@mail.ru, mulyava83@gmail.com

Поступила в редакцию 04.08.2023 г.

В статье проанализированы жизнеспособность и лесоводственно-мелиоративная эффективность древостоев из березы повислой (*Betula pendula* Roth), тополя черного (*Populus nigra* L.) и т. лавролистного (*P. laurifolia* Ledeb.) в возрасте 33 лет, произрастающих в лесных полосах шахматного и рядового способов посадки. Временные пробные площади закладывались с использованием современных методов исследований. Установлено, что на каштановой, слаборазвитой и супесчаной почве с глубоким залеганием грунтовых вод древостои отмеченных древесных пород находятся на стадии депрессии. Лучшая жизнеспособность (1.8 балла) с сохранностью посадок 57.5 % характерна для древостоев березы, созданных шахматным способом посадки. Худшей жизнеспособностью (4.5 балла) с низкой (14.7 %) сохранностью отличаются древостои из тополя черного, созданные тем же шахматным способом посадки. Обследованные древостои характеризуются ослабленным и сильно ослабленным жизненным состоянием. Общая продолжительность жизни березы повислой в Койбальской степи составляет 45 лет, а тополей черного и лавролистного – не более 35 лет. Защитные и лесоводственно-мелиоративные свойства березовых лесополос выражены недостаточно, имеют удовлетворительную (3 балла) лесоводственно-мелиоративную оценку, требуют частичной реконструкции и возобновления агротехнического ухода на закрайках лесополос. Тополевые лесные полосы полностью утратили свои защитные и лесоводственно-мелиоративные функции, соответствуют низкой (1 балл) лесоводственно-мелиоративной оценке и нуждаются в раскорчевке и замене.

**Ключевые слова:** береза повислая, тополь черный, тополь лавролистный, способ посадки, сохранность деревьев.

DOI: 10.15372/SJFS20240204

### ВВЕДЕНИЕ

Улучшение состояния землепользования является планетарной экологической проблемой (FAO, 2017). В большой и разноплановой системе государственных мероприятий по охране, воспроизводству и рациональному использованию земельных ресурсов Российской Федерации одно из важных мест занимает защитное лесоразведение как неотъемлемая часть адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных территорий в засушливых услови-

ях (Кулик, Мартынюк, 2020). Многочисленные и достаточно убедительные доказательства многофункционального благотворного воздействия систем защитных лесных насаждений заставляют рассматривать их уже не только как средства поле- и почвозащиты, стокорегулирования и водоохраны, но и как мощный биосферный фактор релаксации (постепенного ослабления процессов деструкции) и реставрации (восстановления исходного состояния) компенсаторно-регуляторного потенциала агроэкосистем (Петров, 1995).

© Лобанов А. И., Кутькина Н. В., Мартынова М. А., Мулява В. Е., Мулява В. В., 2024

Накопленный опыт полезащитного лесоразведения в засушливых условиях Республики Хакасия обобщен П. Ф. Фоминым (1952), Н. И. Лиховид (1969), Е. Н. Савиным с соавт. (2001), А. И. Лобановым, Е. Н. Савиным (2010), А. И. Лобановым с соавт. (2015а, б). Он показал, что жизнеспособность и лесоводственно-мелиоративная эффективность полезащитных лесных полос (ПЗЛП) на разных стадиях жизненного цикла весьма различны.

Некоторые исследователи (Лобанов, Вараксин, 2012; Мартынова, 2021; Лобанов и др., 2022) провели оценку состояния вязовых ПЗЛП, размещенных в настоящее время в Абаканской и Койбальской степях Республики Хакасия. Известны публикации о состоянии, росте, развитии и устойчивости тополевых ПЗЛП в Минусинской степи Красноярского края (Лобанов, Юрасов, 2002) и Ширинской степи Республики Хакасия (Савин и др., 2001; Ковылина и др., 2011; Вараксин, Вайс, 2018), анализ которых показал, что многие лесополосы теряют свои защитные свойства. Вопросы долголетия лиственных древесных растений, произрастающих в искусственных насаждениях на исконно безлесных территориях (Гордеева, Лобанов, 2022), жизнеспособности и лесоводственно-мелиоративная эффективность березовых и тополевых ПЗЛП изучены недостаточно. В засушливых условиях сохранение лесных полос, а также выполнение ими защитных функций в системе агролесомелиоративных и других комплексных мероприятий, остаются важнейшей задачей (Mize, Brondle, 1999; Кутькина, 2003; Puddu et al., 2012; Лобанов и др., 2015б). Следовательно, сведения о жизнеспособности и лесоводственно-мелиоративной эффективности ПЗЛП представляют как теоретический, так и практический интерес для создания их нового поколения.

Цель настоящей работы – исследовать жизнеспособность и дать лесоводственно-мелиоративную оценку березовых и тополевых полезащитных лесных полос, произрастающих на землях сельскохозяйственного назначения в Койбальской степи Республики Хакасия.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований были ПЗЛП, состоящие из березы повислой (*Betula pendula* Roth), тополя черного (*Populus nigra* L.) и т. лавролистного (*P. laurifolia* Ledeb.). Они размещены в северо-западном направлении от п. Кирба Бей-

ского района Республики Хакасия в местности с географическими координатами 53°18' с. ш., 91°06' в. д. и абсолютной высотой над уровнем моря 306–310 м. Климат резко континентальный: среднегодовая температура воздуха 0.9 °С; амплитуда абсолютных температур достигает 85 °С при максимуме 37 °С и минимуме –48 °С. Годовая сумма осадков 359 мм, до 86.1 % их приходится на теплый (IV–IX) период года. При средней мощности снежного покрова 15 см происходит глубокое (до 275 см) промерзание почвы. И зимой, и летом характерна большая скорость ветра (Агроклиматический..., 1961).

Лесополосы обследованы на временных пробных площадях (пп), заложенных в соответствии с ОСТ 56-69-83 (1983). Закладка пп соответствовала общепринятым классическим лесоводственно-таксационным методикам (Сукачев, 1961; Анучин, 1982). Жизнеспособность древостоев оценена по шкале категорий состояния деревьев (Постановление..., 2020), средневзвешенный индекс состояния древостоев на пробных площадях рассчитан по формуле Я. А. Шяпятене (1987). Интегральная лесоводственно-мелиоративная оценка ПЗЛП дана по 5-балльной шкале академика Е. С. Павловского (1973). Динамика роста растений изучена по общепринятой методике (Методы..., 2002). Изменения в растительном покрове определены методом учетных площадок и геоботанических описаний (Понятовская, 1964). Названия растений даны по «Определителю растений юга Красноярского края» (1979). Материал обработан с помощью электронной таблицы Excel, статистического пакета Statistica 6.0. Достоверность влияния факторов на показатели деревьев и древостоев тестирована по критерию (*F*) Фишера методами дисперсионного анализа, достоверность различия выборочных совокупностей для зависимых и независимых групп, а также значимость коэффициентов регрессии установлены по критерию (*t*) Стьюдента. Анализ проведен на уровне доверительной вероятности  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Система обследованных ПЗЛП в районе исследования заложена под научным руководством В. К. Савостьянова на бывших орошаемых землях как экспериментальный участок Сибирского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации. Ее краткая характеристика представлена в табл. 1.

**Таблица 1.** Общая характеристика березовых и тополивых ПЗЛП на пробных площадях

| Номер пп | Порода | Способ посадки | Число рядов, шт. | Состав  | Схема посадки, м | Конструкция |
|----------|--------|----------------|------------------|---------|------------------|-------------|
| 1        | Б      | Шахматный      | 4                | 10Б     | 6.0 × 2.0        | П-п         |
| 2        | Тч     | »              | 4                | 10Тч    | 6.0 × 2.0        | П-п         |
| 3        | Тч, Тл | Рядовой        | 2                | 10Тч+Тл | 6.0 × 1.6        | П           |
| 4        | Б      | »              | 2                | 10Б     | 6.0 × 1.6        | П           |

*Примечание.* Б – береза повислая; Тч – тополь черный; Тл – т. лавролистный. Конструкция ПЗЛП: П – продуваемая; П-п – повышено-продуваемая.

Из табл. 1 видно, что полезащитные лесополосы из березы и тополя разных видов на пробных площадях созданы шахматным и рядовым способами посадки.

При шахматном способе посадки со схемой размещения деревьев 6.0 × 2.0 м площадь питания одного дерева составляет 12 м<sup>2</sup>, при рядовом со схемой размещения деревьев 6.0 × 1.6 м – 9.6 м<sup>2</sup>.

Почва под обследованными лесополосами – каштановая, слаборазвитая, супесчаная, обработана по системе 2-летнего черного пара, защищена от дефляции размещением с наветренной стороны буферными полосами многолетних трав и посевом кулис с наветренной стороны лесополос шириной 1 м из горчицы (Савостьянов, 2007).

Из комплекса наблюдений за опытно-производственными посадками наибольший научный и практический интерес представляют сведения о росте деревьев в высоту и по диаметру, сохранности древостоев, их жизнеспособности и лесоводственно-мелиоративной эффективности лесополос.

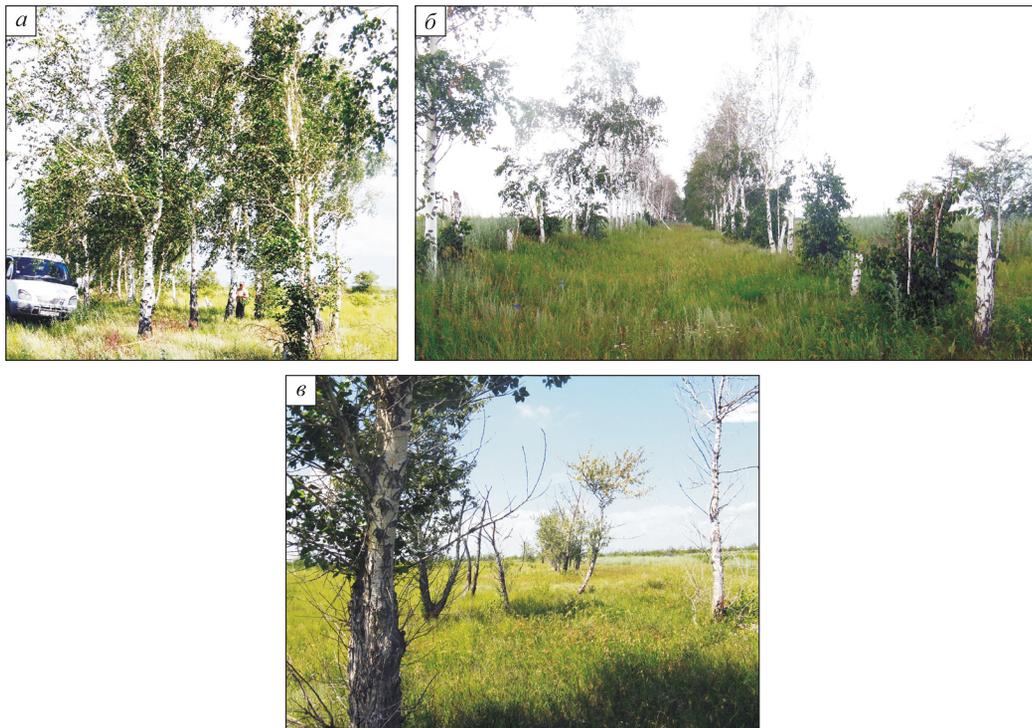
Известно, что в условиях жаркого и сухого климата древесные растения раньше вступают в генеративную стадию, сравнительно быстро стареют и завершают свой жизненный цикл (Гордеева, Лобанов, 2022). Проведенные нами исследования показали, что насаждения из березы повислой, тополя черного и т. лавролистного, введенные искусственным путем в ПЗЛП на исконно безлесную территорию района исследований, характеризуются слабой биологической устойчивостью к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям Койбальской степи. Об этом свидетельствуют показатели роста, сохранность древесных растений на пробных площадях и лесоводственно-мелиоративная оценка обследованных лесополос в 33-летнем биологическом возрасте (рис. 1, табл. 2).

Из табл. 2 видно, что лучшим ростом в высоту в районе исследований обладает береза

повислая, достигающая средней высоты 10.5 м при среднем диаметре на высоте груди 17.7 см в 2-рядном насаждении с широким междурядьем. Запас растущего древостоя в таких насаждениях достигает 10.0 м<sup>3</sup>/га. Тополя черный и лавролистный в древостоях того же способа посадки отстают в росте в высоту от березы соответственно на 0.6 и 2.1 м, но зато запас растущего древостоя у тополя лавролистного в 1.5 раза больше, чем у березы повислой. Различия в средней высоте и диаметре у тополя черного между крайними и внутренними рядами в шахматных посадках лесополос существенны и статистически достоверны ( $F = 7.1, p < 0.001$  и  $F = 5.3, p < 0.004$ ).

Количество сохранившихся деревьев той или иной древесной породы от общего числа первоначально высаженных является хорошим показателем биологической устойчивости лесонасаждений в засушливых условиях. Сравнительные исследования сохранности березы и тополей разных видов в обследованных ПЗЛП показали, что сохранность деревьев в них зависит от породного состава, густоты первоначальной посадки и способа посадки лесонасаждений. Лучшей сохранностью (57.5 %) к 33-летнему биологическому возрасту обладает березовый древостой на пп 1, созданный шахматным способом посадки с редким (833 экз./га) размещением деревьев. С увеличением густоты рядовой посадки березы до 1042 экз./га ее сохранность к этому же возрасту снижается на 44.3 % (табл. 2). На снижение ее сохранности в лесополосах оказали влияние сухость степного климата и самовольные рубки, а также неоднократные степные пожары и отсутствие агротехнических уходов на закрайках насаждений.

Влаголюбивый тополь черный в 33-летнем биологическом возрасте в шахматных лесополосах, несмотря на повышенную площадь питания отдельного дерева (12 м<sup>2</sup>), имеет самую низкую (14.7 %) сохранность, практически усох (рис. 1, в), а лесополоса по шкале лесоводствен-



**Рис. 1.** Общий вид расстроенных и усыхающих ПЗЛП из березы повислой шахматного (а) и рядового способов посадки с широким междурядьем (б) и из тополя черного шахматного способа посадки (в).

но-мелиоративной оценки (Павловский, 1973) имеет самую низкую (1 балл) оценку и требует полной реконструкции или замены. На снижение сохранности посадок оказали свое влияние степные пожары, нагары от которых встречаются на коре стволов до высоты 1.5 м, и хорошо развитый травяной покров – мощный потребитель доступной почвенной влаги, с общим проективным покрытием почвы 95–100 %. В травяном ярусе доминантами выступали кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) (Сор<sub>1</sub>), полынь метельчатая (*Artemisia scoparia* Waldst. & Kit.) (Sp), п. холодная (*A. frigida* Willd.) (Sp), лапчатка рябинколистная (*Potentilla tanacetifolia* Willd. ex D. F. K. Schltl.) (Sp), мятлик узколист-

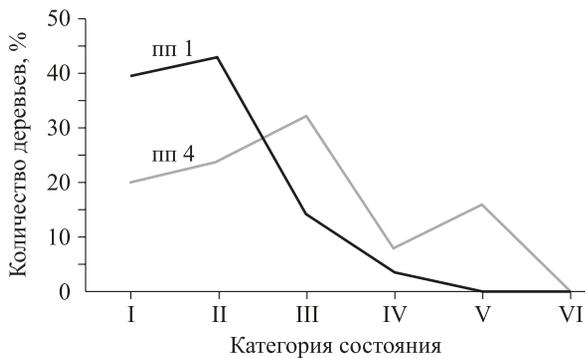
ный (*Poa angustifolia* L.) (Sol) и другие виды, которые способствуют быстрому задернению почвы. Из кустарников встречались отдельные кусты смородины золотистой (*Ribes aureum* Pursh.), возникшие здесь семенным путем.

Проведенное исследование жизнеспособности березовых и тополевых ПЗЛП выявило различия, связанные с породным составом древостоев и способами их создания. Лучшим жизненным состоянием древостоя в 33-летнем биологическом возрасте отличается береза повислая при шахматном способе посадки (пп 1). В древостое без признаков ослабления зарегистрировано 39 % сохранившихся деревьев, а на долю ослабленных и сильно ослабленных

**Таблица 2.** Показатели роста, сохранность древесных растений и лесоводственно-мелиоративная оценка ПЗЛП

| Номер пп | Порода | Средние   |             | Запас, м <sup>3</sup> /га |          | Густота, экз./га |         | Сохранность, % | ЛМО, балл |
|----------|--------|-----------|-------------|---------------------------|----------|------------------|---------|----------------|-----------|
|          |        | высота, м | диаметр, см | растущего дерева          | сухостоя | посадки          | стояния |                |           |
| 1        | Б      | 9.3       | 15.4        | 10.0                      | 0.0      | 833              | 479     | 57.5           | 3а        |
| 2        | Тч     | 8.6       | –           | –                         | –        | 833              | 122     | 14.7           | 1         |
| 3        | Тч     | 9.9       | 21.9        | 9.0                       | –        | 1042             | 413     | 39.6           | 2         |
|          | Тл     | 8.4       | 16.4        | 15.0                      | –        |                  |         |                |           |
| 4        | Б      | 10.5      | 17.7        | 9.0                       | 1.0      | 1042             | 266     | 25.5           | 2         |

*Примечание.* ЛМО – лесоводственно-мелиоративная оценка. Прочерк – отсутствие данных.



**Рис. 2.** Распределение деревьев березы повислой по категориям состояния на участках полос, созданных шахматным (пп 1) и рядовым способом посадки с широким междурядьем (пп 4).



**Рис. 3.** Распределение деревьев тополей лавролистного (1) и черного (2) по категориям состояния в лесополосе рядового способа посадки с широким междурядьем (пп 3).

приходится 57 % деревьев. У этой же древесной породы в ПЗЛП рядового способа посадки с широким междурядьем (пп 4) жизненное состояние деревьев хуже, только 20 % из них не имеют признаков ослабления, а остальные отнесены к усыхающим и к свежесухшим (рис. 2).

Лесополоса из тополя черного в смешении с т. лавролистным, созданная рядовым способом посадки с широким междурядьем (пп 3), сильно деградировала. При этом тополь черный выделяется лучшим жизненным состоянием по сравнению с тополем лавролистным. У тополя черного зафиксировано 13.6 % здоровых деревьев без признаков ослабления, а 68.3 % деревьев – ослабленных (2 балла). Тополь лавролистный уже имел 78.9 % ослабленных и сильно ослабленных деревьев, а остальные были причислены к усыхающим и усохшим (рис. 3).

В целом можно отметить, что жизнеспособность березовых древостоев в шахматных посадках относительно удовлетворительная (1.8 балла), а в рядовых посадках с широким междурядьем – неудовлетворительная (2.6 балла). Жизненное состояние тополевых древостоев из-за скоротечности прохождения этапов онтогенетического развития в условиях недостатка влаги значительно хуже (2.5–4.5 балла), и такие лесополосы требуют полной реконструкции или замены, поскольку утратили свои защитные и лесоводственно-мелиоративные свойства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в обследованных березовых и тополевых ПЗЛП, произрастающих на каштановых, слаборазвитых и супесчаных почвах Койбальской степи, протекают деструктивные процессы – увеличивается задержание почвы,

растет количество сухостоя, древостои в целом имеют ослабленное и сильно ослабленное жизненное состояние (от 1.8 до 4.5 балла), что обусловлено их возрастной структурой (вступлением в стадии спелости и перестойности), а также уменьшением их устойчивости по причине недостатка влаги, самовольных рубок и степных пожаров. Топольные лесополосы нуждаются в полной реконструкции или замене, не выполняют своих защитных и лесоводственно-мелиоративных функций, что соответствует низкой их лесоводственно-мелиоративной оценке (1 балл). Использование тополя черного и лавролистного при создании нового поколения ПЗЛП возможно только в условиях с близким (не более 3 м) залеганием уровня грунтовых вод или на орошаемых землях. Продолжительность жизни тополевых ПЗЛП в районе исследований не превышает 35 лет, а березовых может достигнуть 45 лет, что необходимо учитывать при проектировании нового поколения ПЗЛП в районе исследований.

Созданные более 30 лет назад топольные и березовые ПЗЛП внесли весомый вклад в снижение дефляционных и эрозионных процессов в Койбальской степи Республики Хакасия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской автономной области.* Л.: Гидрометеиздат, 1961. 288 с.
- Анучин Н. П.* Лесная таксация: учеб. для вузов. 5-е изд., доп. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
- Вараксин Г. С., Вайс А. А.* Комплексная оценка защитных полос из тополя черного *Populus nigra* L. на юге Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2018. № 4. С. 58–65.
- Гордеева Г. Н., Лобанов А. И.* Продолжительность жизненного цикла и зимостойкость древесных интродуцен-

- тов в сухостепной зоне Хакасии // ИВУЗ. Лесн. журн. 2022. № 3. С. 73–90.
- Ковылина О. П., Ковылин Н. В., Сухенко Н. В. Исследование роста защитных лесных полос разного видового состава в Ширинской степи Хакасии // Хвойные бореал. зоны. 2011. Т. 28. № 1–2. С. 27–33.
- Кулик К. Н., Мартынюк А. А. О мерах по совершенствованию государственной политики в сферах лесного хозяйства и лесозащитного лесоразведения // Аналит. вестн. 2020. № 12 (755). С. 24–30.
- Кутькина Н. В. Влияние лесных полос на степные почвы Хакасии // Защитное лесоразведение в аридной зоне. Абакан: НИИ агр. пробл. Хакасии, 2003. С. 66–100.
- Лиховид Н. И. Лесополосы в Хакасии. Красноярск: Кн. изд-во, 1969. 48 с.
- Лобанов А. И., Вараксин Г. С. Влияние способа посадки и микрорельефа на рост и состояние вяза приземистого в полезащитных лесных полосах сухостепной зоны Хакасии // ИВУЗ. Лесн. журн. 2012. № 2. С. 28–34.
- Лобанов А. И., Кириенко М. А., Мулява В. Е. Мелиоративная характеристика систем полезащитных насаждений в южных районах Средней Сибири // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2015а. Т. 18. № 18. С. 43–46.
- Лобанов А. И., Кравцова Л. П., Гордеева Г. Н., Кутькина Н. В. Современное состояние *Ulmus pumila* L. в полезащитных лесных полосах сухостепной зоны Республики Хакасия // Пробл. бот. Юж. Сибири и Монголии. 2022. Т. 21. № 1. С. 102–107.
- Лобанов А. И., Савин Е. Н. Развитие в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН исследований по вопросам защитного лесоразведения за период 1944–2009 гг. // Бот. иссл. в Сибири. Красноярск: Поликом, 2010. Вып. 18. С. 128–151.
- Лобанов А. И., Савостьянов В. К., Пименов А. В. Дефляция почв и агролесомелиоративные мероприятия на юге Средней Сибири (к 55-летию организации Хакасского противоэрозионного стационара Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) // Сиб. лесн. журн. 2015б. № 1. С. 105–117.
- Лобанов А. И., Юрасов П. Б. К биоэкологии тополя черного в защитных насаждениях // Сиб. экол. журн. 2002. № 2. С. 191–198.
- Мартынова М. А. Диагностика жизненного состояния насаждений, представленных полезащитными лесными полосами на юге Средней Сибири // Вестн. КрасГАУ. 2021. № 3. С. 46–51.
- Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. В. Горшков, И. В. Лянгузова, Е. А. Мазная, В. Ю. Нешатаев, В. Ю. Нешатаева, Н. И. Ставрова, В. Т. Ярмишко, М. А. Ярмишко / Под ред. В. Т. Ярмишко, И. В. Лянгузовой. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Определитель растений юга Красноярского края / М. И. Беглянова, Е. М. Васильева, Л. И. Кашина, В. Г. Кольцова, И. Ю. Коропачинский, И. М. Красноборов, Т. К. Некошнова, В. А. Смирнова, В. Л. Черепнин, Е. М. Юдина. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 669 с.
- ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
- Павловский Е. С. Устройство агролесомелиоративных насаждений. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 128 с.
- Петров Н. Г. Место и роль защитного лесоразведения в формировании экологически устойчивых агроландшафтов // Защитное лесоразведение при формировании агроландшафтов в степи: Материалы симп. по защит. лесоразведению, посвящ. памяти П. Ф. Фомина, Абакан, 9–10 августа 1994 г. Новосибирск, 1995. С. 4–12.
- Понятовская В. М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 209–299.
- Постановление Правительства РФ от 09.12.2020 № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». М.: Правительство РФ, 2020.
- Савин Е. Н., Лобанов А. И., Невзоров В. Н., Ковылин Н. В., Ковылина О. П. Выращивание лесных полос в степях Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 102 с.
- Савостьянов В. К. Влияние взглядов И. И. Сиягина о площади питания растений на обоснование густоты деревьев в защитных лесных насаждениях аридной зоны // Деятельность академика И. И. Сиягина в становлении и развитии сибирской аграрной науки: Материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 95-летию со дня рожд. акад. И. И. Сиягина, Новосибирск, 20–22 марта 2006 г. Новосибирск: СО РАСХН, 2007. С. 209–214.
- Сукачев В. Н. Общие принципы и программа изучения типов леса // Методические указания к изучению типов леса. 2-е изд. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 11–92.
- Фомин П. Ф. Опыт полезащитного лесоразведения в Хакасии. Абакан: Хакас. облгосиздат, 1952. 72 с.
- Шляптеня Я. А. О выборе показателей для мониторинга лесных экосистем // Биомониторинг лесных экосистем. Каунас, 1987. С. 108–111.
- FAO. Land resources planning for sustainable land management. Land and Water Division Working Paper No. 14. Rome, Italy, 2017. <http://www.fao.org/3/a-i5937e.pdf>
- Mize C., Brondle J. Native shelterbelts // Ecology. 1999. V. 48. P. 27–54.
- Puddu G., Falcucci A., Maiorano L. Forest changes over a century in Sardinia: Implications for conservation in a Mediterranean hotspot // Agroforestry Systems. 2012. V. 85. N. 3. P. 319–330.

## **VIABILITY AND SILVICULTURAL-RECLAMATION ASSESMENT OF DECIDUOUS FOREST BELTS IN THE KOIBAL STEPPE OF THE REPUBLIC OF KHAKASSIA**

**A. I. Lobanov<sup>1</sup>, N. V. Kut'kina<sup>1</sup>, M. A. Martynova<sup>1</sup>, V. E. Mulyava<sup>2</sup>, V. V. Mulyava<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Scientific Research Institute of Agrarian Problems of Khakassia – Branch of the Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Sadovaya str., 5, Zelenoe Village, Ust'-Abakan District, Republic of Khakassia, 665132 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*

---

E-mail: anatoly-lobanov@ksc.krasn.ru, cutcina19@mail.ru, artemisiadracun61@mail.ru, sibhoney@mail.ru, mulyava83@gmail.com

The article analyzes the viability and silvicultural and reclamation efficiency of stands of silver birch (*Betula pendula* Roth), black poplar (*Populus nigra* L.) and laurel poplar (*Populus laurifolia* Ledeb.) at the age of 33 years, growing in forest belts of checkerboard and row planting methods. Using modern research methods, temporary trial plots were established. It has been established that on chestnut, poorly developed and sandy loam soil with deep groundwater, stands of the noted tree species are at the stage of degression. The best viability (1.8 points) with planting safety of 57.5 % is typical for birch stands created by the checkerboard planting method. The worst viability (4.5 points) and low (14.7 %) preservation are distinguished by stands of black poplar, created by the same checkerboard planting method. The surveyed forest stands are characterized by a weakened and severely weakened vital state. The total lifespan of silver birch in the Koibal steppe can reach 45 years, and black and laurel poplars – no more than 35 years. The protective and silvicultural and reclamation properties of birch forest belts are not sufficiently expressed, they have a satisfactory (3a points) silvicultural and reclamation assessment, they require partial reconstruction and the resumption of agrotechnical care at the edges of the forest belts. Poplar forest belts have completely lost their protective and silvicultural-reclamation functions, correspond to a low (1 point) silvicultural-reclamation assessment, and need to be uprooted and replaced.

**Keywords:** *silver birch, black poplar, bay leaf poplar, planting method, preservation of trees.*

**How to cite:** *Lobanov A. I., Kut'kina N. V., Martynova M. A., Mulyava V. E., Mulyava V. V. Viability and silvicultural-reclamation assessment of deciduous forest belts in the Koibal steppe of the Republic of Khakassia // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 34–40 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 574\*23+574\*24

## ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ХВОИ СОСНЫ СИБИРСКОЙ КЕДРОВОЙ В ПЕРИОД ВЫХОДА ИЗ СОСТОЯНИЯ ЗИМНЕГО ПОКОЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОТНОЙ ПОЯСНОСТИ ЗАПАДНОГО САЯНА

Н. В. Пахарькова, И. В. Масенцова, И. Г. Гетте, Е. Е. Позднякова, А. А. Калабина

Сибирский федеральный университет  
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: npakharkova@sfu-kras.ru, irina.masentsova@yandex.ru, igette@sfu-kras.ru,  
e.pozdniakova34@gmail.com, sipanna@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.09.2023 г.

В связи с изменением климата у многих видов хвойных деревьев – основных лесообразователей в Западной и Восточной Сибири, происходят сдвиги как широтных, так и высотных границ ареала. Данное исследование посвящено определению особенностей фотосинтетической активности и пигментного состава хвои сосны сибирской кедровой – кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour), произрастающей в районе хр. Ергаки Западного Саяна, в период выхода из состояния зимнего покоя. В качестве объектов исследования были взяты молодые деревья кедра сибирского, произрастающие на разной высоте над уровнем моря. В районе оз. Ойское на территории природного парка «Ергаки» весной 2023 г. была заложена трансекта с четырьмя пробными площадями, пересекающая верхнюю границу леса при переходе от горно-таежного к гольцово-тундровому поясу. Единичные экземпляры кедра сибирского, распространившиеся выше границы леса, обладают рядом экофизиологических особенностей, позволяющих им выживать в суровых условиях. К таким особенностям можно отнести большую глубину зимнего покоя, когда деревья, находящиеся в фазе вынужденного покоя, медленнее реагируют на повышение температуры по сравнению с деревьями, произрастающими ниже верхней границы леса, которым, по-видимому, зимне-весенние оттепели не будут представлять опасности. Сильная инсоляция при низких температурах, характерная для открытых горных склонов в конце зимы и весной, также не является критически опасной для продвижения кедра сибирского выше границы леса благодаря преобладанию в этот период каротиноидов в пигментном комплексе их хвои.

**Ключевые слова:** зимний покой, флуоресценция, фотосинтетические пигменты, хвоя, *Pinus sibirica* Du Tour.

DOI: 10.15372/SJFS20240205

### ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата оказывает непосредственное влияние на лесные экосистемы бореальной зоны. У многих видов хвойных деревьев – основных лесообразователей в Западной и Восточной Сибири, происходят сдвиги как широтных (Тихонова, Корец, 2021), так и высотных (Хуторной, 2015; Pakharkova et al., 2020; Kharuk et al., 2021) границ ареала. В результате более быстрого перемещения южной (или, в случае высотной поясности, нижней) границы из-за уменьшения влажности и более медлен-

ного перемещения северной (или верхней) границы, связанного с повышением температуры и освоением подростом новых территорий, площадь ареала может уменьшиться. В частности, на примере кедровых древостоев Западного Саяна, представленных в разных лесорастительных районах тремя разными климатическими фациями кедровников, показано, что в каждой из них при общих для гор тенденциях изменения климата вековые смены сообществ имели свою специфику (Кошкаров и др., 2021). Также было обнаружено, что повышение температуры стимулирует продвижение границы древесной

растительности по градиенту высоты в горах Восточного Саяна, способствует возрастанию численности подроста древесных растений в экотоне горной лесотундры и увеличению радиального прироста деревьев сосны сибирской кедровой – кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) (Петров и др., 2021; Petrov et al., 2021). По данным некоторых авторов, повышение температуры оказывает стимулирующее воздействие на продвижение линии деревьев по градиенту высоты, а также на увеличение радиального прироста деревьев и плотности древостоя также в горах Кольского полуострова, Полярного Урала и плато Путорана (Grigoriev et al., 2022; Moiseev et al., 2022). При этом скорость продвижения линии передовых деревьев несколько ниже скорости движения верхней границы леса и составляет приблизительно 0.2–0.3 м/год; линии леса ~ 0.5 м/год (Petrov et al., 2019). Многие исследования посвящены анализу текущего состояния естественных насаждений кедра сибирского (Назимова и др., 2015) и его возобновления под пологом материнских лесов (Коновалова и др. 2020; Быкова-Сашко, 2021). Однако актуальным остается вопрос о перспективах распространения кедра сибирского выше линии леса.

В связи с изменением климата зимние оттепели появляются в районах, для которых ранее они не были характерны (Второй оценочный доклад..., 2014; Алексеев, 2015). Хвойные деревья, сохраняющие ассимиляционный аппарат в течение всего года, оказываются уязвимыми перед повышением температуры в зимний период (Тихонова, Корец, 2021). В результате нагревания хвои до положительных температур и возобновления фотосинтетической активности, происходит возобновление устьичного газообмена, в том числе испарения воды. Известно, что из-за отсутствия доступной влаги в почве наблюдается водный дефицит в клетках хвои, приводящий к их иссушению и гибели (Соболев, Феклистов, 2016). В этот период весьма актуальной становится проблема оценки устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды.

Известно, что в пределах вида (Шигапов и др., 2016) и даже одной популяции (Пахарькова и др., 2019) существуют особи, в разной степени приспособленные к перенесению неблагоприятных условий, в том числе возникающих в результате временного повышения температуры в зимне-весенний период. Как правило, значительное количество таких особей встречается на границе распространения вида как в широтном, так и в высотном направлении.

Отмечены проявления внутривидовой изменчивости по типу формирования кроны, размерам шишек и семян (Матвеева и др., 2014), хвои, площадям поперечного сечения, мезофилла, центрального цилиндра, меньшей функциональной активностью хлоропластов (Зотикова и др., 2006; Zotikova et al., 2006), а также по отношению дыхания к фотосинтезу и соотношению фотосинтетических пигментов (Бендер и др., 2009; Бендер, Горошкевич, 2020). Для кедра сибирского, интродуцированного в горные районы Дальнего Востока, показано (Титова, 2010), что содержание зеленых пигментов достигает максимума в августе, в осенние и ранние зимние месяцы оно неуклонно снижается, а количество каротиноидов минимально в августе и максимально в ноябре, при этом общий пул пигментов остается относительно стабильным с мая по ноябрь. В северной части ареала кедра сибирского (61–62° с. ш.) также ближе к периоду покоя зимой доля зеленых пигментов уменьшается, а желтых пигментов увеличивается относительно весенне-летнего сезона, при этом максимальную фотосинтетическую активность проявляет 2- и 3-летняя хвоя (Варлам и др., 2019). Несмотря на значительное количество публикаций по пигментному составу хвои кедра сибирского, недостаточно изученным остается вопрос изменения пигментного комплекса в зимне-весенний период в процессе вынужденного зимнего покоя и выхода растений из этого состояния в условиях высотной поясности.

Цель данной работы – определить особенности фотосинтетической активности и пигментного состава хвои кедра сибирского, произрастающего в районе хр. Ергаки Западного Саяна, в период выхода из состояния зимнего покоя. Это позволит определить механизмы адаптации его сеянцев и подроста к зимне-весенним оттепелям в условиях высокой инсоляции.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на территории природного парка «Ергаки» в Ермаковском районе Красноярского края.

В качестве объектов изучения были взяты молодые деревья кедра сибирского (второго класса возраста), произрастающие на разной высоте над уровнем моря. В районе оз. Ойское, на территории природного парка «Ергаки», весной 2023 г. была заложена трансекта, пересекающая верхнюю границу леса при переходе от горно-

**Таблица 1.** Характеристика пробных площадей и объектов исследования

| Номер пп | Высота над уровнем моря, м | Координаты: с. ш. / в. д.  | Тип древесной растительности   |
|----------|----------------------------|----------------------------|--|
| 1        | 1636                       | 52°50'40.4" / 093°16'24.2" | Стланиковые формы кедр сибирского высотой до 1 м. Диаметр стволов 3–5 см   |
| 2        | 1558                       | 52°50'26.3" / 093°16'26.9" | Редколесье кедр сибирского. Древостой однородный, состав 10К. Сомкнутость крон 0.1. Высота деревьев до 5 м. Диаметр 8–12 см                              |
| 3        | 1505                       | 52°50'17.2" / 093°16'21.0" | Пихтово-кедровый мелкотравно-зеленомошный лес. Состав древостоя 6К4П. Сомкнутость крон 0.4. Высота деревьев кедр сибирского до 15 м. Диаметр 15–20 см    |
| 4        | 1455                       | 52°50'14.6" / 093°15'28.4" | Кедрово-пихтовый крупнотравно-папоротниковый лес. Состав древостоя 6П4К. Сомкнутость крон 0.7. Высота деревьев кедр сибирского до 15 м. Диаметр 15–20 см |

Примечание. К – кедр сибирский; П – пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.).

таежного темнохвойного к подгольцово-субальпийскому высотно-поясному комплексу (Назимова и др., 2020). Вдоль трансекты выделены четыре пробные площади (пп), координаты их центральных точек представлены в табл. 1.

На пп 4 и пп 3 представлены типичные для этого района горно-таежные темнохвойные леса, образованные пихтой и кедром сибирским.

Пп 4 расположена в нижней части склона на равнинном участке, а пп 3, так же, как пп 2 и пп 1, на склоне южной экспозиции. Граница леса проходит между пп 2 и пп 3, линия передовых деревьев (здесь присутствуют отдельные стволовые формы кедр сибирского, не образующие лесной фитоценоз) – между пп 1 и пп 2. На пп 1 отмечены экземпляры кедр сибирского только стланиковой формы, а также значительное количество подроста в возрасте до 10 лет.

В пределах каждой пробной площади выбрано и промаркировано по 20 типичных экземпляров кедр сибирского, с каждого из них срезано по три побега. Таким образом, общее количество растительных образцов составило 240 штук. Фотографии побегов деревьев в инфракрасном и видимом диапазоне получены с использованием тепловизора Flir.

Для определения пигментного состава и параметров флуоресценции хлорофилла использовали хвою второго года жизни с боковых побегов. Срезанные побеги в течение одних суток доставили в лабораторию в автомобильном холодильнике Alpicool TW-35 при температуре, соответствующей температуре во время сбора образцов (–19 °С).

Количественное определение пигментов проводили в спиртовой вытяжке на спектрофотометре SPEKOL 1300 AnalytikJenna AG при

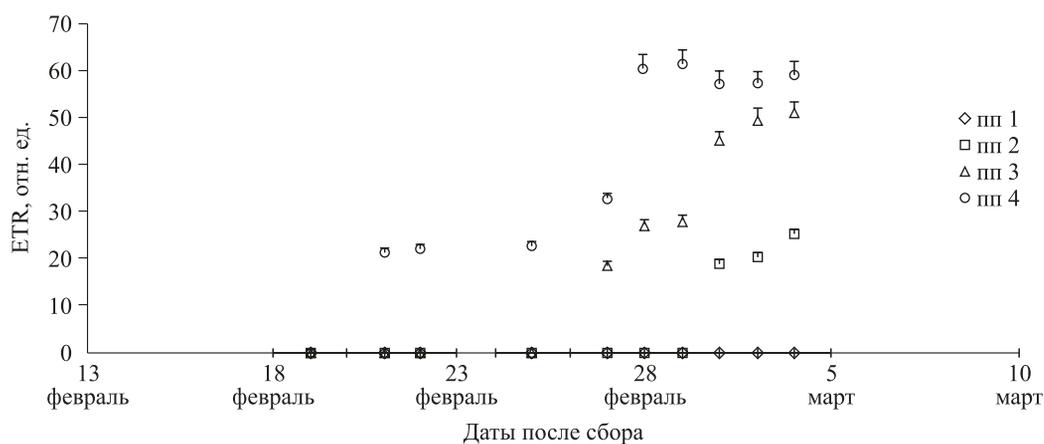
длинах волн, соответствующих максимумам поглощения определяемых пигментов в данном растворителе (Wintermans, De Motts, 1965).

Для оценки потенциальной способности к восстановлению фотосинтетической активности побеги кедр сибирского были помещены нижними концами в сосуды с водой и выходили из состояния зимнего покоя в лабораторных условиях при температуре 24 °С и естественном освещении в течение 2 нед. За это время были проведены измерения параметров флуоресценции хлорофилла хвои на флуориметрах Junior PAM и IMAGING-PAM M-Series MAXI Version (HeinzWalz GmbH, Германия) в режиме записи световой кривой фотосинтеза. Обработка данных осуществлена с помощью полнофункционального программного обеспечения WinControl.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В зимне-весенний период для хвойных растений, произрастающих выше границы леса, основными рисками являются высокая интенсивность солнечной радиации, вызывающая фотоингибирование фотосинтеза при низких температурах воздуха и возобновление фотосинтетической активности хвои во время оттепелей, приводящее к так называемому «зимнему высуханию». В зависимости от пигментного состава хвои и структурных особенностей фотосинтетического аппарата, растения оказываются в разной степени устойчивыми к таким угрозам.

На рис. 1 представлены изменения показателя скорости электронного транспорта (ETR) при искусственном выведении побегов из состояния зимнего покоя.



**Рис. 1.** Скорость электронного транспорта (ETR) при искусственном выведении побегов кедрового сибирского из состояния зимнего покоя в лабораторных условиях.

Скорость транспорта электронов в первичных процессах фотосинтеза показывает активность фотосинтетического аппарата. По полученным данным, увеличение скорости электронного транспорта в хвое деревьев с пп 4 отмечено через 3 сут после помещения побегов в лабораторию, в хвое с пп 3 – через 9 сут, а с пп 2 – через 12 сут, тогда как образцы с пп 1 так и не вышли из состояния покоя за 2 нед наблюдений. Это свидетельствует о разном уровне потенциальной готовности хвои деревьев, произрастающих на различной высоте над уровнем моря, к возобновлению фотосинтетической деятельности. С одной стороны, этот факт можно объяснить различными температурными условиями, разница между температурой хвои в день сбора образцов между верхней и нижней пробными площадями составила  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2).

При съемке деревьев кедрового сибирского выбран режим «теплая точка», что соответствует местоположению хвои. Можно предположить, что единичные экземпляры кедрового сибирского, способные выживать выше границы леса, имеют большую глубину покоя и медленнее выходят из этого состояния, что позволяет им не реагировать на кратковременные зимне-весенние оттепели. В этом случае хвоя этих растений будет иметь меньшее количество хлорофиллов по сравнению с хвоей деревьев, потенциально готовых к фотосинтезу.

Представленные на рис. 3 изображения хвои с 4 типичных деревьев кедрового сибирского с верхней и нижней пробных площадей, полученные с помощью флуориметра Imaging PAM, свидетельствуют о более быстром увеличении интенсивности флуоресценции хлорофилла хвои деревьев с нижней части склона (пп 4) по сравнению с верхней (пп 1).

Это свидетельствует о том, что при искусственном выведении побегов из состояния зимнего покоя в хвое деревьев с пп 4 происходит более быстрое накопление хлорофиллов и восстановление фотосинтетической активности по сравнению с побегами с пп 1. Можно также отметить, что хвоя деревьев с пп 4 изначально имела более высокий уровень флуоресценции по сравнению с хвоей с пп 1. При этом заметны индивидуальные отличия деревьев, хорошо выраженные при искусственном выведении побегов из состояния покоя в лабораторных условиях. Так, на пп 1 хвоя деревьев *a* и *б* быстрее увеличивает интенсивность флуоресценции по сравнению с 2 другими, на пп 4 большая интенсивность флуоресценции отмечена у дерева *д*. Можно предположить, что при выходе из покоя в естественных условиях также будут наблюдаться индивидуальные отличия деревьев, не связанные с внешними условиями. Это подтверждается и результатами количественного определения фотосинтетических пигментов. Как свидетельствует рис. 4, содержание хлорофиллов увеличивается в апреле по сравнению с февральскими данными в 2.6–4.7 раза по хлорофиллу *a* и в 2.2–2.4 раза по хлорофиллу *b* (различия достоверны для  $p \geq 0.95$ ); содержание каротиноидов остается почти постоянным, статистически достоверных различий не обнаружено.

Повышение содержания хлорофиллов свидетельствует о потенциальной готовности хвои к выходу из состояния зимнего покоя и восстановлению фотосинтетической активности. Отрицательная температура воздуха в сочетании с сильной солнечной радиацией – типичная ситуация, в которой может произойти торможение или даже разрушение фотосистемы избыточной энергией.

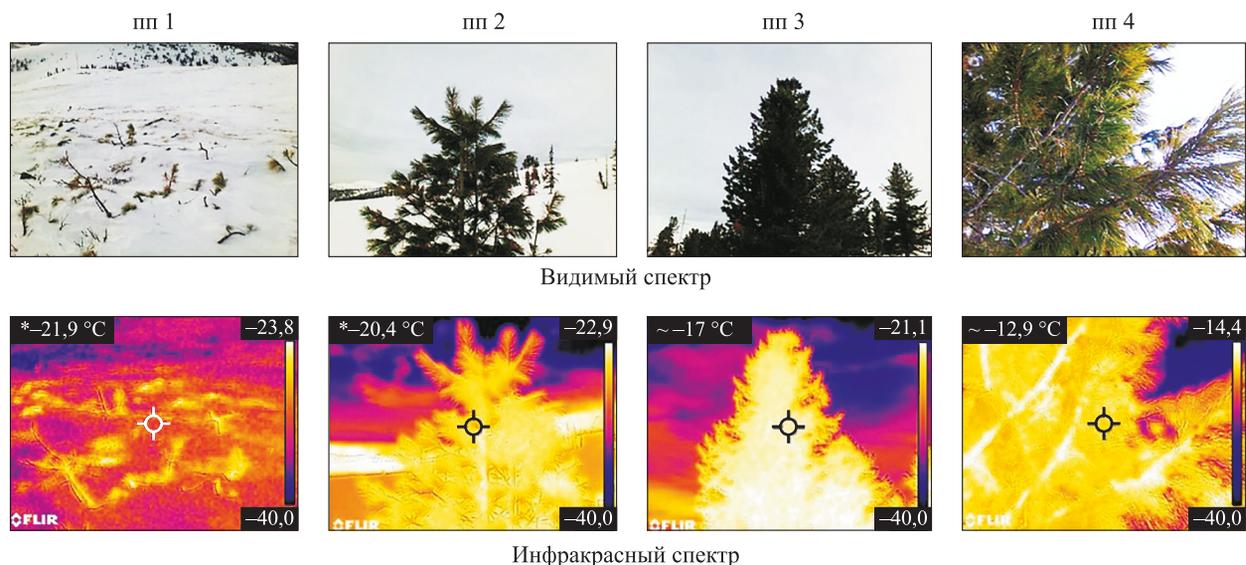


Рис. 2. Фотографии побегов деревьев кедр сибирского на пробных площадях в день сбора образцов в видимом и инфракрасном спектрах.

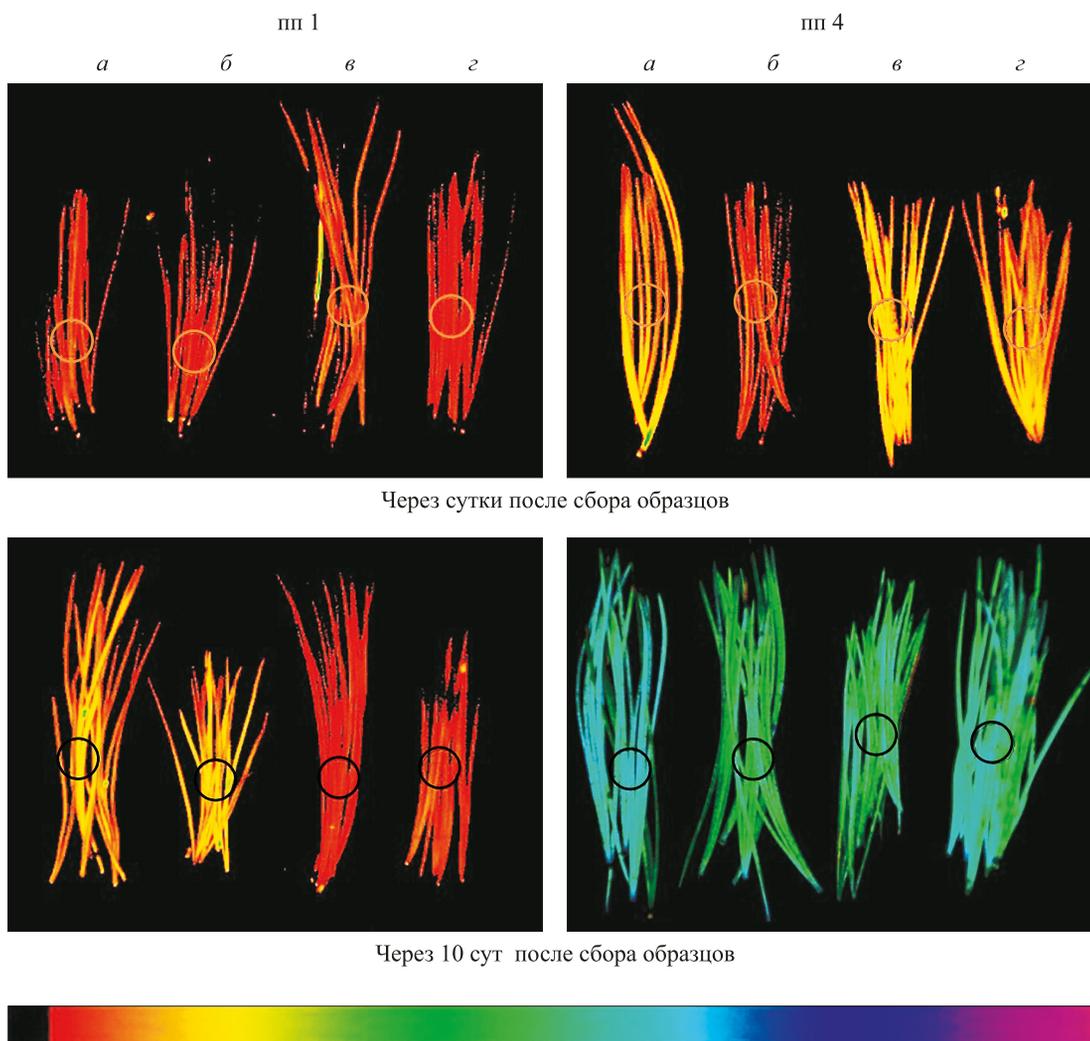
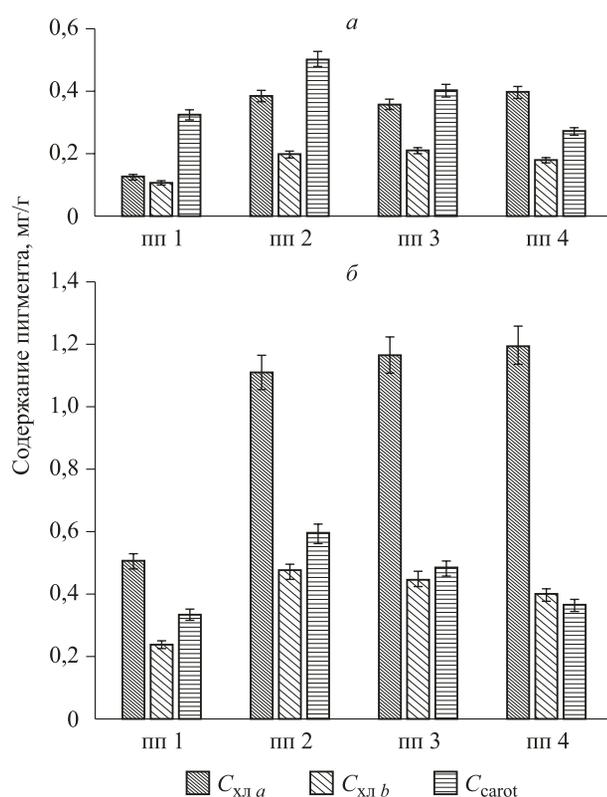


Рис. 3. Визуализация параметров флуоресценции хлорофилла хвои типичных экземпляров кедр сибирского с верхней пп 1 и с нижней пп 4 на флуориметре Imaging PAM. Цветовая шкала в нижней части рисунка слева направо показывает интенсивность флуоресценции хлорофилла хвои от минимальных до максимальных значений.



**Рис. 4.** Содержание хлорофиллов и каротиноидов в хвое кедр сибирского в пересчете на сухую массу в феврале (а) и апреле (б).

УФ-излучение не является специфическим для дерева стрессовым фактором, учитывая хорошо разработанные защитные меры, выработанные растениями, однако его воздействие может фиксироваться по уменьшению отношения содержания хлорофиллов и каротиноидов (Бендер и др., 2009).

Каротиноиды выполняют ряд важных функций в процессе фотосинтеза: антенную (дополнительные пигменты в процессе поглощения солнечной энергии), защитную (тушители триплетного хлорофилла и синглетного кислорода) и фотопротекторную (предохраняют реакционный центр фотосистемы от мощных потоков энергии при высоких интенсивностях света и стабилизируют липидную фазу тилакоидных мембран, защищая ее от перекисления).

Соотношение хлорофиллов и каротиноидов достоверно различается в зимний и весенний

периоды ( $p \geq 0.95$ ); при этом мы видим, что наименьшие значения этого показателя характерны для пп 1 (верхней), а наибольшие – для пп 3 и пп 4 (нижних) (табл. 2).

В феврале, когда деревья находятся в состоянии вынужденного зимнего покоя, содержание каротиноидов в хвое деревьев на всех пробных площадях, кроме пп 4, количественно превышает содержание хлорофилла а.

Известно, что содержание каротиноидов в хвое различных видов хвойных возрастает зимой и уменьшается в весенне-летний период (Ottander et al., 1995; Wang et al., 2003; Ensminger et al., 2004; Яцко и др, 2009; Тужилкина, 2012, 2017). Роль каротиноидов возрастает в условиях снижения интенсивности физиолого-биохимических процессов в клетках хвои при низких температурах. Уменьшение отношения суммарного содержания хлорофиллов к каротиноидам с наступлением зимы объясняется защитной функцией каротиноидов, которые предохраняют ассимиляционный аппарат от фотодинамического разрушения в условиях низких температур за счет тушения синглетного кислорода, поглощения и рассеивания энергии возбуждения молекул хлорофиллов и стабилизации физического состояния мембран и белков антенных комплексов (Kalituhu et al., 2007).

По мере выхода из состояния зимнего покоя и подготовки к вегетации содержание хлорофиллов возрастает, при этом пул каротиноидов изменяется незначительно. Данные многих авторов (Ходасевич, 1982; Гаевский и др., 1991; Головкин и др., 2013; Софронова и др., 2016; Sofronova et al., 2016) свидетельствуют о том, что изменения фотосинтетического аппарата при подготовке вечнозеленых растений к зимнему периоду направлены на снижение поглощения и усиление диссипации поглощенной световой энергии, а в весенне-летний период, наоборот, хвоя адаптируется к более полному использованию фотосинтетически активной радиации. Однако не до конца понятно, в какой мере выражены сезонные изменения фонда фотосинтетических пигментов хвои и ингибирование фотосинтеза у разных видов хвойных в разных эколого-географических условиях. По-видимому, в конце зимы

**Таблица 2.** Соотношение содержания хлорофиллов и каротиноидов в хвое деревьев кедр сибирского, произрастающих на разной высоте над уровнем моря, отн. ед.

| Месяц сбора образцов | пп 1        | пп 2        | пп 3        | пп 4         |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Февраль              | 0.71 ± 0.04 | 1.16 ± 0.05 | 1.41 ± 0.07 | 1.76 ± 0.08  |
| Апрель               | 4.27 ± 0.20 | 5.31 ± 0.25 | 6.00 ± 0.31 | 11.44 ± 0.59 |

значительная доля каротиноидов при меньшем содержании хлорофиллов позволяет подросту кедров сибирского в верхней части склона избежать фотоингибирования и, уменьшив уровень фотосинтетической активности при положительных температурах воздуха во время оттепелей, предохранять хвою от водного дефицита и физиологического иссушения, возникающего в результате недоступности почвенной влаги в этот период.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Единичные экземпляры кедров сибирского, распространившиеся выше границы леса, обладают рядом экофизиологических особенностей, позволяющих им выживать в достаточно суровых условиях. К таким особенностям можно отнести большую глубину зимнего покоя, когда деревья, находящиеся в фазе вынужденного покоя, медленнее реагируют на повышение температуры, по сравнению с деревьями, произрастающими ниже верхней границы леса. Им, по-видимому, зимне-весенние оттепели не будут представлять опасности. Сильная инсоляция при низких температурах, характерная для открытых горных склонов в конце зимы и весной, также не является критически опасной для продвижения кедров сибирского выше границы леса, благодаря преобладанию в этот период каротиноидов, выполняющих защитную функцию в пигментном комплексе их хвои.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 23-24-00251 «Внутрипопуляционная изменчивость экофизиологических признаков деревьев сосны сибирской (Pinus sibirica Du Tour) в условиях изменения климата».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г. В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фунд. и прикл. климатол. 2015. № 1. С. 11–26.
- Бендер О. Г., Зотикова А. П., Велисевич С. Н. Особенности водного обмена и состояния пигментного комплекса хвои кедров сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в горах Северо-Восточного Алтая // Вестн. Том. гос. ун-та. Биол. 2009. № 3 (7). С. 63–72.
- Бендер О. Г., Горошкевич С. Н. Газообмен и содержание фотосинтетических пигментов у широтных экотипов кедров сибирского в опыте *ex situ* // Сиб. лесн. журн. 2020. № 5. С. 28–36.
- Быкова-Сашко Е. В. Современное состояние кедровых (*Pinus sibirica* Du Tour) насаждений в Саяно-Шушенском биосферном заповеднике // Сиб. лесн. журн. 2021. № 6. С. 59–71.
- Варлам И. И., Русак С. Н., Казарцева К. В. Сезонные изменения пигментного состава *Pinus sibirica* в условиях урбоэкосистем северных территорий (на примере г. Сургута) // Экол. урб. тер. 2019. № 1. С. 82–86.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. В 3-х т. / Под ред. Г. В. Алексеева, М. Д. Ананичева, О. А. Анисимова. М.: Росгидромет, 2014. Т. 1. 1008 с.
- Гаевский Н. А., Сорокина Г. А., Гольд В. М., Миролобская И. В. Сезонные изменения фотосинтетического аппарата древесных и кустарниковых растений // Физиол. раст. 1991. Т. 38. № 4. С. 685–692.
- Головки Т. К., Яцко Я. Н., Дымова О. В. Сезонные изменения состояния фотосинтетического аппарата трех бореальных видов хвойных растений в подзоне средней тайги на Европейском Северо-Востоке // Хвойные бореал. зоны. 2013. Т. 31. С. 73–78.
- Зотикова А. П., Бендер О. Г., Рудник Т. И. Экофизиологические реакции листового аппарата кедров сибирского на изменение климата // Опт. атм. и океана. 2006. Т. 19. № 11. С. 969–972.
- Коновалова М. Е., Коновалова Е. Г., Цветков Е. Н., Генюх Д. Д. Размерная и возрастная структура горных кедровников приенисейских Саян // Сиб. лесн. журн. 2020. № 3. С. 51–62.
- Кошкаргов А. Д., Кошкарлова В. Л., Назимова Д. И. Многовековые климатические тренды трансформации кедровников в разных лесорастительных зонах гор Западного Саяна // Сиб. лесн. журн. 2021. № 2. С. 3–16.
- Матвеева Р. Н., Братилова Н. П., Буторова О. Ф. Изменчивость показателей роста и генеративного развития кедровых сосен на плантации зеленой зоны города Красноярск // Сиб. лесн. журн. 2014. № 2. С. 81–86.
- Назимова Д. И., Коновалова М. Е., Данилина Д. М., Пономарев Е. И., Сташкевич Н. Ю., Бабой С. Д. Исследования долговременной динамики лесов в пергумидном климате Западного Саяна (Ермаковский стационар Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) // Сиб. лесн. журн. 2015. № 4. С. 3–17.
- Назимова Д. И., Пономарев Е. И., Коновалова М. Е. Роль высотно-поясной основы и дистанционных данных в задачах устойчивого управления горными лесами // Лесоведение. 2020. № 1. С. 3–16.
- Пахарькова Н. В., Кузьмина Н. А., Кузнецова Г. В., Кузьмин С. Р. Диагностика устойчивости представителей рода *Pinus* к периодическим повышениям температуры в зимне-весенний период // Изв. СПбЛТА. 2019. № 227. С. 88–106.
- Петров И. А., Шушпанов А. С., Голоков А. С., Двинская М. Л., Харук В. И. Динамика древесно-кустарниковой растительности в горной лесотундре Восточного Саяна // Экология. 2021. № 5. С. 372–379.
- Соболев А. Н., Феклистов П. А. Продолжительность жизни и биометрические параметры хвои в сосняке черничном (о-в Б. Соловецкий) // Вестн. Сев. (Аркт.) фед. ун-та. Сер. «Естеств. науки». 2016. № 4. С. 47–56.
- Софронова В. Е., Дымова О. В., Головки Т. К., Чепалов В. А., Петров К. А. Адаптивные изменения пигментного комплекса хвои *Pinus sylvestris* при закаливании к низкой температуре // Физиол. раст. 2016. Т. 63. № 4. С. 461–471.

- Тимова М. С. Сезонная динамика содержания пигментов в хвое сосны сибирской (*Pinus sibirica*) и сосны корейской (*Pinus koraiensis*) // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 8 (47). С. 77–81.
- Тужилкина В. В. Пигментный комплекс хвои сосны в лесах Европейского Северо-Востока // Лесоведение. 2012. № 4. С. 16–23.
- Тужилкина В. В. Фотосинтетические пигменты хвои ели сибирской в среднегаежных лесах Европейского Северо-Востока России // Сиб. лесн. журн. 2017. № 1. С. 65–73.
- Тихонова И. В., Корец М. А. Изменчивость метеорологических условий произрастания хвойных пород в Средней Сибири с 1960 г. // Лесоведение. 2021. № 2. С. 173–186.
- Шигапов З. Х., Путенихина К. В., Шигапова А. И., Уразбахтина К. А., Путенихин В. П. Генетическое разнообразие кедров сибирского при интродукции на Южном Урале и в Башкирском Предуралье // Сиб. лесн. журн. 2016. № 5. С. 137–146.
- Ходасевич Э. П. Фотосинтетический аппарат хвойных (онтогенетический аспект). Минск: Наука и техника, 1982. 199 с.
- Хуторной О. В. Структура и динамика верхней границы произрастания хвойных в горах Южной Сибири // Тр. Тигирекского заповедника. 2015. № 7. С. 210–215.
- Яцко Я. Н., Дымова О. В., Головки Т. К. Пигментный комплекс зимне- и вечнозеленых растений в подзоне средней тайги Европейского Северо-Востока // Бот. журн. 2009. Т. 94. № 12. С. 1812–1820.
- Ensminger I., Sveshnikov D., Campbell D. A., Funk C., Jansson S., Lloyd J., Shibistova O., Quist G. Intermittent low temperatures constrain spring recovery of photosynthesis in boreal Scots pine forests // Glob. Change Biol. 2004. V. 10. N. 6. P. 995–1008.
- Grigoriev A. A., Shalaumova Y. V., Vyukhin S. O., Balakin D. S., Kukarskikh V. V., Vyukhina A. A., Camarero J. J., Moiseev P. A. Upward treeline shifts in two regions of subarctic Russia are governed by summer thermal and winter snow conditions // Forests. 2022. V. 13. N. 2. Article number 174. 20 p.
- Kalituho L., Rech J., Jahns P. The roles of specific xanthophylls in light utilization // Planta. 2007. V. 225. Iss. 2. P. 423–439.
- Kharuk V. I., Im S. T., Petrov I. A. Alpine ecotone in the Siberian mountains: vegetation response to warming // J. Mount. Sci. 2021. V. 18. N. 12. P. 3099–3108.
- Moiseev P. A., Hagedorn F., Balakin D. S., Bubnov M. O., Devi N. M., Kukarskikh V. V., Mazepa V. S., Vyukhin S. O., Vyukhina A. A., Grigoriev A. A. Stand biomass at tree-line ecotone in Russian subarctic mountains is primarily related to species composition but its dynamics driven by improvement of climatic conditions // Forests. 2022. V. 13. N. 2. Article number 254. 21 p.
- Ottander C., Campbell D., Öquist G. Seasonal changes in photosystem II organization and pigment composition in *Pinus sylvestris* // Planta. 1995. V. 197. N. 1. P. 176–183.
- Pakharkova N., Borisova I., Sharafutdinov R., Gavrikov V. Photosynthetic pigments in Siberian pine and fir under climate warming and shift of the timberline // Forests. 2020. V. 11. N. 1. Article number 63. 15 p.
- Petrov I. A., Shushpanov A. S., Golyukov A. S., Kharuk V. I. *Pinus sibirica* Du Tour response to climate change in the forests of the Kuznetsk Alatau Mountains // Sib. J. For. Sci. 2019. N. 5. P. 43–53.
- 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. N. 5. P. 399–405 (Original Rus. Text © I. A. Petrov, A. S. Shushpanov, A. S. Golyukov, M. L. Dvinskaya, V. I. Kharuk, 2021, publ. in Ekologiya. 2021. N. 5. P. 372–379).
- Sofronova V. E., Dymova O. V., Golovko T. K., Chepalov V. A., Petrov K. A. Adaptive changes in pigment complex of *Pinus sylvestris* needles upon cold acclimation // Rus. J. Plant Physiol. 2016. V. 63. N. 4. P. 433–442 (Original Rus. Text © V. E. Sofronova, O. V. Dymova, T. K. Golovko, V. A. Chepalov, K. A. Petrov, 2016, publ. in Fiziologiya Rastenii. 2016. V. 63. N. 4. P. 461–471).
- Wang K.-Y., Kellomäki S., Zha T. Modifications in photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in 20-year-old pine trees after a four-year exposure to carbon dioxide and temperature elevation // Photosynthetica. 2003. V. 41. Iss. 2. P. 167–175.
- Wintermans J. E. G., De Mots A. Spectrophotometric characteristics of chlorophyll a and b and their phenophytins in ethanol // Biochim. Biophys. Acta. 1965. N. 109. P. 448–453.
- Zotikova A. P., Bender O. G., Rudnik T. I. Ecophysiological reactions of the Siberian stone pine leaf apparatus to climate change // Atmos. Oceanic Opt. 2006. V. 19. N. 11. P. 870–872 (Original Rus. Text © A. P. Zotikova, O. G. Bender, T. I. Rudnik, 2006, publ. in Optika atmosfery i okeana. 2006. V. 19. N. 11. P. 969–972).

## PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF SIBERIAN PINE NEEDLES DURING THE PERIOD OF EMERGING FROM THE STATE OF WINTER DORMANCY IN THE CONDITIONS OF THE HIGH-ALTITUDE ZONE OF THE WESTERN SAYAN

N. V. Pakharkova, I. V. Masentsova, I. G. Gette, E. E. Pozdnyakova, A. A. Kalabina

*Siberian Federal University*

*Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation*

---

E-mail: npakharkova@sfu-kras.ru, irina.masentsova@yandex.ru, igette@sfu-kras.ru, e.pozdniakova34@gmail.com, sipanna@yandex.ru

Due to climate change, many species of coniferous trees, which are the main forest formers of the forests of Western and Eastern Siberia, have shifts in both latitudinal and altitudinal boundaries of the range. This study is devoted to determining the features of photosynthetic activity and pigment composition of Siberian pine needles growing in the area of the Ergaki ridge of the Western Sayan, during the period of recovery from the state of winter dormancy. Young Siberian pine trees (*Pinus sibirica* Du Tour) growing at different heights above sea level were taken as objects of research. In the area of Lake Oyskoe on the territory of the Ergaki Nature Park in the spring of 2023, a transect with four test areas was laid, crossing the timberline during the transition from the mountain taiga to the rocky-tundra area. Single specimens of Siberian pine, spread above the timberline, have a number of ecophysiological features that allow them to survive in fairly harsh conditions. Such features include a greater depth of winter dormancy, when trees in the phase of forced dormancy react more slowly to temperature increases, compared with trees growing below the timberline. For them, apparently, winter-spring thaws will not pose a danger. Strong insolation at low temperatures, characteristic of open mountain slopes in late winter and spring, is also not critically dangerous for the advancement of Siberian pine above the timberline, due to the predominance of carotenoids in the pigment complex of their needles during this period.

**Keywords:** *winter dormancy, fluorescence, photosynthetic pigments, needles, Pinus sibirica Du Tour.*

**How to cite:** Pakharkova N. V., Masentsova I. V., Gette I. G., Pozdnyakova E. E., Kalabina A. A. Photosynthetic apparatus of Siberian pine needles during the period of emerging from the state of winter dormancy in the conditions of the high-altitude zone of the Western Sayan // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 41–49 (in Russian with English abstract and references).

УДК 674.032.475.243(581.44;275.21)+527.623.1+502.4

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПОБЕГА ПИХТЫ СИБИРСКОЙ ПО ГРАДИЕНТУ АБСОЛЮТНОЙ ВЫСОТЫ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «КРАСНОЯРСКИЕ СТОЛБЫ»

А. В. Гирева<sup>1</sup>, О. М. Шабалина<sup>2</sup>, Д. Ю. Павлова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный парк «Красноярские Столбы»  
660006, Красноярск, ул. Карьерная, 26а,

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет  
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: annamadworld@gmail.com, shabalina11@bk.ru, donation333@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.11.2023 г.

Изучены особенности индивидуальной изменчивости морфометрических признаков побега пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), произрастающей на различной высоте на северном макросклоне Восточного Саяна на территории национального парка «Красноярские Столбы» – от низкогорья до среднегорья. При этом она обнаружена в составе древостоя в различных типах леса и не демонстрирует строгой фитоценотической приуроченности. По-видимому, на данной территории пихта сибирская находится в условиях своего эколого-фитоценотического оптимума. Годичный прирост и охвоенность побега варьируют на среднем уровне, длина хвои – преимущественно на низком, ширина хвои – на очень низком. Длину и ширину хвои, отличающиеся низкой вариабельностью, можно рекомендовать в диагностических целях. Сравнительный анализ средних значений изученных признаков показал, что по мере увеличения абсолютной высоты происходит статистически достоверное уменьшение годичного прироста, длины и ширины хвои пихты сибирской, а также увеличение охвоенности побега. Побеги пихты из национального парка «Красноярские Столбы» (Восточный Саян) отличаются более высокими значениями годичного прироста, охвоенности побегов и длины хвои, тогда как ширина хвои больше у пихты с Западного Саяна. Наблюдаемые различия могут быть связаны не только с климатическими особенностями районов, но и с фитоценотической приуроченностью изученных ценопопуляций. Годичный прирост побегов и их охвоенность существенно зависят от метеорологических условий года. Показана тесная корреляция данных признаков с температурой июля и влажностью воздуха мая и июля. Не выявлено существенного влияния погодных условий года на морфометрические признаки хвои пихты.

**Ключевые слова:** *Abies sibirica* Ledeb., годичный побег, длина и ширина хвои, метеорологические условия, Восточный и Западный Саян.

DOI: 10.15372/SJFS20240206

### ВВЕДЕНИЕ

В современном мире огромное внимание уделяется исследованию реакции наземных экосистем на изменяющиеся климатические условия как на глобальном, так и на региональном уровнях.

Растительность горных районов, формировавшаяся в течение многих лет в экстремальных условиях, может быть важным показателем кли-

матических изменений. Ее особая уникальность как объекта исследований обусловлена высокой чувствительностью к климатическим изменениям (Шиятов и др., 2005; Shiyatov et al., 2005).

Во многих областях наблюдаются смещение верхней границы распространения древесной растительности, изменение структуры и состава древостоев вследствие потепления климата. Особый интерес представляют регионы, где растительность не подвергалась значительному

антропогенному воздействию, поскольку это позволяет более точно оценить естественную динамику древостоев (Дэви и др., 2018).

Около 28,5 % покрытой лесом площади во влажных районах Алтае-Саянской лесорастительной области занимают пихтовые леса. В эту зону входят черневые пихтово-осиновые леса и черневая тайга низко- и среднегорья Восточного Саяна (200–800 м н. у. м.) (Поликапов и др., 1986).

Известно, что хвойные растения – одни из наиболее чувствительных к изменениям экологических условий. В неблагоприятных условиях у них меняются архитектура кроны и характер ветвления, уменьшаются размеры некоторых органов (хвои, побегов, шишек), снижаются охвоенность побегов, продолжительность жизни хвои, появляются разного рода хлорозы и некрозы и т. д. В числе первых на изменение экологических условий реагируют морфометрические признаки побега (Кокорин, 2003; Кокорин, Милютин, 2003; Бажина, 2007).

Пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) – один из самых распространенных видов хвойных в лесных экосистемах гор Южной Сибири. Ареал ее распространения охватывает территорию от бассейна Северной Двины на западе до верховий Алдана на востоке. Северная граница распространения этого вида достигает полярного круга, а южная проходит по хр. Хэнтей. Большая часть популяции пихты сибирской произрастает на равнинных участках (южнее распространения многолетней мерзлоты), однако она также встречается в горных районах, простираясь там до верхней границы леса (Маценко, 1964; Бобров, 1978). Обширный ареал и разнообразие экологических условий местообитания пихты сибирской может обуславливать высокий уровень изменчивости морфометрических признаков побега, однако имеющиеся в научной литературе сведения крайне фрагментарны.

На территории национального парка «Красноярские Столбы» пихта сибирская встречается на разных высотах, однако ранее не проводились исследования, касающиеся изменчивости морфометрических характеристик побега пихты сибирской в зависимости от градиента высоты. Это обстоятельство является ключевым фактором, определяющим значимость данного исследования.

Целью работы было изучение изменчивости морфометрических признаков побега пихты сибирской, произрастающей на разной высоте на северном макросклоне Восточного Саяна в национальном парке «Красноярские Столбы».

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами для выявления морфологической изменчивости побега пихты сибирской послужили образцы, отобранные на различной высоте на северном макросклоне Восточного Саяна на территории национального парка «Красноярские Столбы» в июле 2020 г. после окончания роста побегов. Работа проводилась в Столбинском и Базайском участковых лесничествах. На территории Столбинского лесничества вдоль Лалетинской дороги было заложено четыре точки для отбора побегов, на высотах 288, 400, 517 и 602 м н. у. м. В Базайском лесничестве точка для отбора побегов находилась рядом с г. Абатас по пути постоянного учетного маршрута, на высоте 730 м н. у. м. Названия точек отбора образцов для удобства включают значения абсолютной высоты. Точки Т 288 и Т 400 находятся в низкогорном поясе, остальные – в среднегорном (табл. 1).

Для оценки изменчивости признаков побега было отобрано по одному побегу у 75 деревьев пихты сибирской II и III классов возраста (15 деревьев в каждой точке). При отборе побегов учитывались освещенность, экспозиция в кроне, высота расположения. Все отобранные побеги пихты располагались преимущественно на высоте груди в южной или юго-восточной части кроны в условиях хорошего освещения.

В каждой точке отбора образцов проводилось полное геоботаническое описание растительности по традиционным методикам (Андреева и др., 2002).

В камеральных условиях измеряли длину годового прироста лидирующего побега за последние 3 года (приросты 2018, 2019 и 2020 гг.), длину и ширину хвои, рассчитывали охвоенность побега (число хвоинок на 1 см побега).

Длина годового прироста и хвои измерялась с помощью миллиметровой линейки, ширина хвои – с помощью окуляр-линейки под бинокулярным микроскопом Микромед МС-2-ZOOM при увеличении  $\times 30$  на каждом годовом приросте в 10-кратной повторности. Всего проанализировано 2250 хвоинок.

Статистическая обработка результатов исследования проведена с помощью функций пакета анализа Microsoft Office Excel.

При анализе материала использовались статистические методы, включая вычисление среднего арифметического ( $X_{cp}$ ) и ошибки среднего ( $m_x$ ) для каждого из признаков. Для оценки сте-

**Таблица 1.** Характеристика точек отбора образцов

| Показатель  | Т 288   | Т 400  | Т 517   | Т 602  | Т 730  |
|---|---|--|---|--|--|
| Тип леса  | Березняк с сосной осочково-крупнотравно-злаковый  | Сосново-мелколиственный осочково-разнотравно-злаковый лес  | Осинник крупнотравно-папоротниковый   | Сосняк осочково-разнотравный   | Осинник с лиственницей разнотравно-осочково-злаковый |
| Экспозиция склона, крутизна   | Восточная, 5°   | Восточная, 15–20°  | Северо-восточная, 10°   | Северо-западная, 30°   | Плато  |
| Формула древостоя   | 1-й ярус:<br>6БЗС1Ос + П<br>2-й ярус: 5П5Ос   | 4БЗОс3С + П  | 8Ос2Б + П   | 7С3Л + П, Б  | 1-й ярус:<br>5Ос3Л1С1Б<br>2-й ярус:<br>8П2Б          |
| Сомкнутость крон  | 0.5   | 0.6  | 0.8   | 0.7  | 0.5  |
| Подлесок: проективное покрытие, состав доминантов                       | 20 %, спирея дубравколистная ( <i>Spiraea chamaedryfolia</i> L.)  | 10 %, спирея дубравколистная   | 15 %, черемуха обыкновенная ( <i>Prunus padus</i> L. syn. <i>Padus avium</i> ), спирея дубравколистная  | 40 %, спирея дубравколистная, рябина сибирская ( <i>Sorbus sibirica</i> Hedl.) | 5–10 %, рябина сибирская, черемуха обыкновенная      |
| Живой напочвенный покров: общее проективное покрытие, состав доминантов | 100 %, бор развесистый ( <i>Milium effusum</i> L.), осока большехвостая ( <i>Carex macroura</i> Meinsh.), борец северный ( <i>Aconitum septentrionale</i> Koelle) | 85 %, коротконожка перистая ( <i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.), вейник тупочешуйный ( <i>Calamagrostis obtusata</i> Trin.), осока большехвостая, ясколка малоцветковая ( <i>Cerastium pauciflorum</i> Steven ex Ser.) | 90 %, страусник обыкновенный ( <i>Matteuccia struthiopteris</i> , (L.) Tod.), борщевик рассеченный ( <i>Heracleum dissectum</i> , Ledeb.), борец северный | 90 %, осока большехвостая, вейник тупочешуйный                                 | 90–95 %, коротконожка перистая, осока большехвостая  |

Примечание. Б – береза (*Betula* L.), С – сосна (*Pinus* L.), Ос – осина (*Populus tremula* L.), П – пихта сибирская, Л – лиственница (*Larix* Mill.).

пени варьирования количественных признаков рассчитывался коэффициент вариации ( $C_v$ , %), предоставляющий объективную информацию о разбросе значений признаков и позволяющий сравнивать их независимо от различий в размерности. Степень изменчивости, определяемая на его основе, классифицировалась согласно шкале, разработанной С. А. Мамаевым (1972) применительно к древесным растениям: очень низкая – менее 7, низкая – 8–12, средняя – 13–20, повышенная – 21–30, высокая – 31–40, очень высокая – более 40. Для оценки среднего уровня корреляционных связей использовали коэффициент детерминации (квадрат коэффициента корреляции), усредненный по соответствующим признакам (Ростова, 1999).

Для оценки статистической достоверности различий средних значений использовали однофакторный дисперсионный анализ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ табл. 1 показывает, что пихта сибирская на территории национального парка «Красноярские Столбы» по всему градиенту абсолютной высоты встречается на склонах разных экспозиций и в сообществах разных типов леса. Ее участие в древостое, как правило, незначительно, за исключением точки Т 730, где она доминирует в составе второго яруса древостоя. Изученные фитоценозы с участием пихты характеризуются различной долей мелколиственных и светлохвойных пород в составе древостоя, различаются по ярусности, имеют различную сомкнутость крон и разный видовой состав подлеска и живого напочвенного покрова. Таким образом, пихта сибирская на северном макросклоне Восточного Саяна на территории

**Таблица 2.** Морфометрические параметры побега пихты сибирской на различной высоте северного макросклона Восточного Саяна на территории национального парка «Красноярские Столбы» (средние показатели за 2018–2020 гг.)

| Точка, абсолютная высота, м | Годичный прирост, см |           | Охвоенность, шт./см    |           | Длина хвои, см    |           | Ширина хвои, мм    |           |
|-----------------------------|----------------------|-----------|------------------------|-----------|-------------------|-----------|--------------------|-----------|
|                             | $X_{cp} \pm m_x$     | $C_v, \%$ | $X_{cp} \pm m_x$       | $C_v, \%$ | $X_{cp} \pm m_x$  | $C_v, \%$ | $X_{cp} \pm m_x$   | $C_v, \%$ |
| T 288                       | $11.32 \pm 0.24^a$   | 14.5      | $17.51 \pm 0.40^a$     | 15.6      | $3.17 \pm 0.05^a$ | 12.1      | $1.11 \pm 0.007^a$ | 4.3       |
| T 400                       | $9.96 \pm 0.24^b$    | 16.7      | $18.60 \pm 0.38^{ab}$  | 13.9      | $2.76 \pm 0.03^b$ | 9.0       | $1.07 \pm 0.006^b$ | 4.3       |
| T 517                       | $9.94 \pm 0.24^b$    | 16.6      | $18.71 \pm 0.47^{abc}$ | 16.9      | $2.54 \pm 0.03^c$ | 9.0       | $1.01 \pm 0.003^c$ | 2.2       |
| T 602                       | $6.38 \pm 0.15^c$    | 16.4      | $19.88 \pm 0.38^c$     | 12.9      | $2.17 \pm 0.03^d$ | 9.6       | $0.95 \pm 0.003^d$ | 2.8       |
| T 730                       | $5.33 \pm 0.15^d$    | 19.6      | $22.44 \pm 0.49^d$     | 14.7      | $1.96 \pm 0.02^e$ | 7.9       | $0.90 \pm 0.005^e$ | 4.0       |

*Примечание.* Латинские буквы обозначают статистическую достоверность различий между средними значениями признака: совпадение букв – отсутствие статистической достоверности различий у соответствующей пары значений признака.

национального парка встречается в различных экологических условиях и демонстрирует отсутствие строгой фитоценотической приуроченности. Это свидетельствует о том, что здесь она находится в условиях своего эколого-фитоценотического оптимума.

Изученные морфометрические признаки побега пихты сибирской существенно отличаются по уровню индивидуальной изменчивости (табл. 2).

Годичный прирост и охвоенность побега варьируют на среднем уровне, длина хвои – преимущественно на низком, ширина – на очень низком. Соответственно последние два признака обладают высокой диагностической ценностью.

При этом сравнение средних показателей демонстрирует явные тенденции изменения морфометрических параметров побега с увеличением абсолютной высоты – происходит статистически достоверное уменьшение годичного прироста, длины и ширины хвои пихты сибирской, а также увеличение охвоенности побега (табл. 2).

Для оценки влияния экологических условий на морфометрические признаки побегов пихты сибирской проведен сравнительный анализ полученных результатов с данными Е. В. Бажиной (2016), согласно которым на северном макросклоне Западного Саяна наблюдается максимальный прирост побегов деревьев, произрастающих в низкогорных районах. Это, вероятно, связано с более продолжительным вегетационным периодом, который на 1–2 нед длиннее, чем у растений в высокогорье. С увеличением абсолютной высоты местности наблюдается уменьшение годичного прироста побегов, однако охвоенность побегов увеличивается. Этот же тренд замечен в нашем исследовании на северном макросклоне Восточного Саяна в на-

циональном парке «Красноярские Столбы». По морфометрическим характеристикам хвои деревьев Е. В. Бажиной (2016) также были замечены систематические изменения в зависимости от высотного пояса, однако эти различия оказались менее выраженными, чем по показателям побегов.

В сравнении с морфометрическими показателями побегов пихты с Красноярских Столбов, побеги с Западного Саяна имеют значения годичного прироста практически в 2 раза меньше. Так, в низкогорном поясе годичный прирост составляет  $4.7 \pm 0.20$  см, что на 47 % ниже, чем на Красноярских Столбах на высоте 400 м н. у. м., где прирост достигает  $9.96 \pm 0.24$  см. Степень варьирования признака на этой высоте имеет средний уровень. В условиях среднегорья приросты побегов пихты сибирской изменяются похожим образом. На высоте около 700–800 м н. у. м. прирост побега на северном макросклоне Западного Саяна составил  $4.2 \pm 0.10$  см, что на 20 % ниже, чем на аналогичной высоте на территории национального парка «Красноярские Столбы». Столь значительная разница в приросте побегов может быть обусловлена рядом причин, одна из которых – флуктуации погодных условий по годам. Другая возможная причина связана с фитоценотической приуроченностью ценопопуляций пихты. Пробные площади в национальном парке «Красноярские Столбы» располагались преимущественно в светлохвойных древостоях, тогда как в Западном Саяне побеги были отобраны в темнохвойных биоценозах. Под пологом материнского древостоя прирост побегов происходит менее интенсивно.

Средние значения охвоенности побега в низкогорье Западного Саяна на 20 % ниже, а в среднегорье – на 9 % выше, чем на соответствующих высотах на Красноярских Столбах. Уровень из-

менчивости признака в низкогорном поясе Западного Саяна – очень высокий ( $C_v = 42\%$ ), а в среднегорном, напротив, очень низкий, в то время как в Восточном Саяне он стабильно держится на среднем уровне. Морфометрические признаки хвои пихты сибирской на Западном Саяне также меняются с высотой – при ее увеличении происходит уменьшение длины хвои. На высоте 450 м н. у. м длина хвои составляет  $2.33 \pm 0.41$  см, что на 16 % ниже, чем на территории национального парка (табл. 2). Уровень изменчивости признака на Западном Саяне существенно варьирует, тогда как на территории парка он низкий независимо от высоты.

Ширина хвои на северном макросклоне Западного Саяна на всех высотах имеет одинаковое значение. Так на высоте 450 м н. у. м. она составляет  $1.5 \pm 0.08$  мм, что существенно выше, чем на территории Красноярских Столбов, где значение этого признака составило  $1.07 \pm 0.006$  мм. Следует отметить чрезвычайно большую разницу в уровнях изменчивости признака – на территории национального парка зафиксирован очень низкий уровень изменчивости, тогда как в Западном Саяне – от среднего до высокого.

В горах Южной Сибири в последние годы наблюдается усыхание темнохвойных лесов (Бажина, Третьякова, 2001), затрагивающая различные типы леса, однако практически во всех повреждаются деревья пихты сибирской преимущественно V класса возраста и старше. В связи с этим исследователями обсуждается ряд гипотез, которые могли бы объяснить причины усыхания пихтовых лесов в горных экосистемах (Oyun et al., 2011; Бажина и др., 2013; Харук и др., 2019; Kharuk et al., 2019). Рассматриваются как естественные факторы – вековые смены растительности, неблагоприятные почвенные

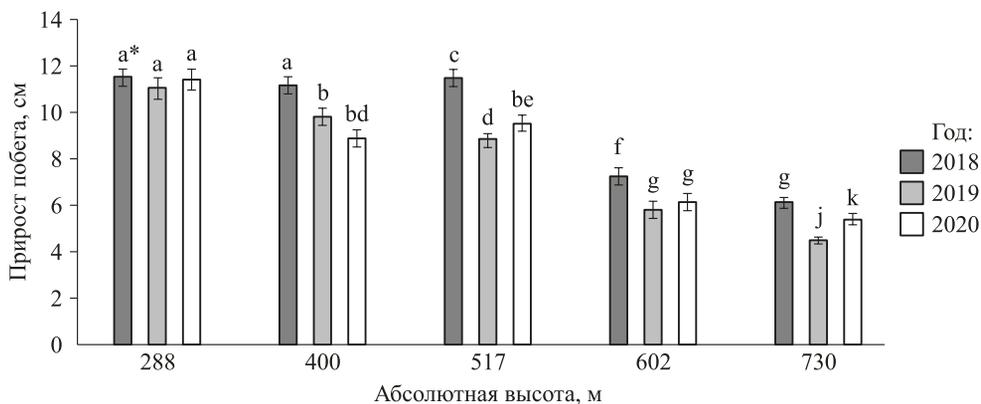
условия, повреждения энтомо вредителями и фитопатогенами, засухи, так и антропогенные. По данным В. И. Харука с соавт. (2019; Kharuk et al., 2019), на территории национального парка «Красноярские Столбы» усыхание пихты оказалось спровоцировано водным стрессом, обусловленным возрастанием температуры воздуха в совокупности с воздействием уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford). Однако по результатам проведенных исследований, можно сказать, что пихта II–III классов возраста на обследованной территории национального парка чувствует себя достаточно хорошо и, вероятно, не испытывает существенного водного стресса.

Особенности развития хвойных растений во многом определяются состоянием среды. Изменения температуры и влажности воздуха, а также количества осадков могут заметно повлиять на процессы сезонного развития растения, что, в свою очередь, отразится на морфометрических показателях побега.

Проведенные исследования морфометрических признаков побега пихты за 3-летний период (2018, 2019 и 2020 гг.) показали, что по всему градиенту высоты (за исключением 288 м н. у. м.) максимальный годичный прирост побега наблюдался в 2018 г. (рис. 1).

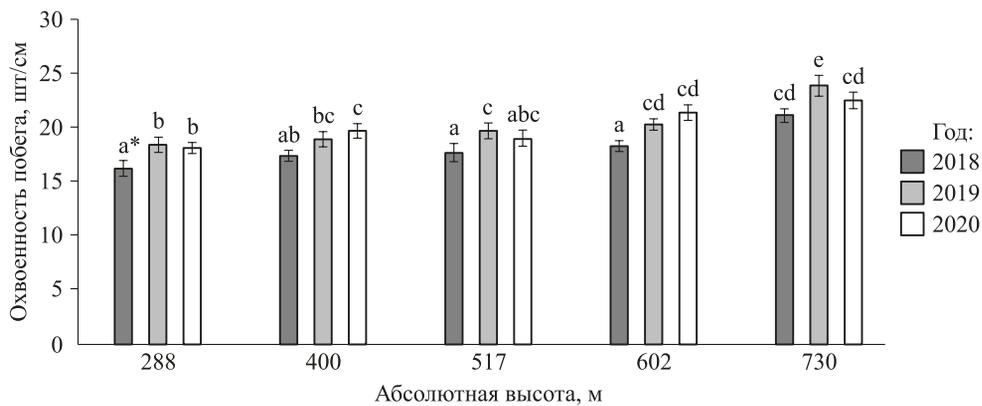
Охвоенность побега за 2018 г. по всему градиенту высоты, напротив, имеет самые минимальные значения (рис. 2).

Отмеченные закономерности разногодичной изменчивости морфометрических характеристик побега пихты в исследуемом районе можно связать с различием метеорологических условий, воздействующих на растения в период роста побега (для пихты сибирской это преимущественно май–июль).



**Рис. 1.** Прирост побега пихты сибирской на разной абсолютной высоте за 3-летний период в национальном парке «Красноярские Столбы».

\* См. примечание табл. 2.



**Рис. 2.** Охвоенность побега пихты сибирской на разной абсолютной высоте за 3-летний период в национальном парке «Красноярские Столбы».

\* См. примечание в табл. 2.

По данным метеостанции «Столбы» (Летопись..., 2018–2020), на территории национального парка в 2018 г. майские температуры воздуха были существенно ниже среднееголетних показателей (табл. 3).

Относительная влажность воздуха выше, а количество осадков ниже нормы. Лето в целом можно охарактеризовать как жаркое и засушливое. Весна 2019 г. выдалась очень сухой. Летом осадков также выпало гораздо ниже нормы, однако влажность воздуха в основном соответствовала среднееголетним значениям.

В 2020 г. весенние среднемесячные температуры были существенно выше среднееголетних показателей (табл. 3). Осадков выпало чуть больше нормы, влажность воздуха примерно соответствовала норме. В первые летние месяцы выпало рекордное количество осадков, температура воздуха – на уровне среднееголетней, однако июнь – более холодный. Относительная влажность в целом за лето и по месяцам также несколько выше средних значений. Таким образом, май 2018 г. отличался самой низкой среднемесячной температурой и повышенной влажностью воздуха. В. И. Харук с соавт. (2019; Kharuk et al., 2019) отмечают негативное воздействие повышенной температуры воздуха в мае на при-

рост пихты сибирской. Аномальное повышение температуры воздуха ранней весной активизирует фотосинтез и усиливает эвапотранспирацию, что происходит на фоне отсутствия подпитки влагой из почвы. Следовательно, более низкие значения прироста побегов пихты в 2019 и 2020 гг. могут быть связаны с более высокими температурами в мае.

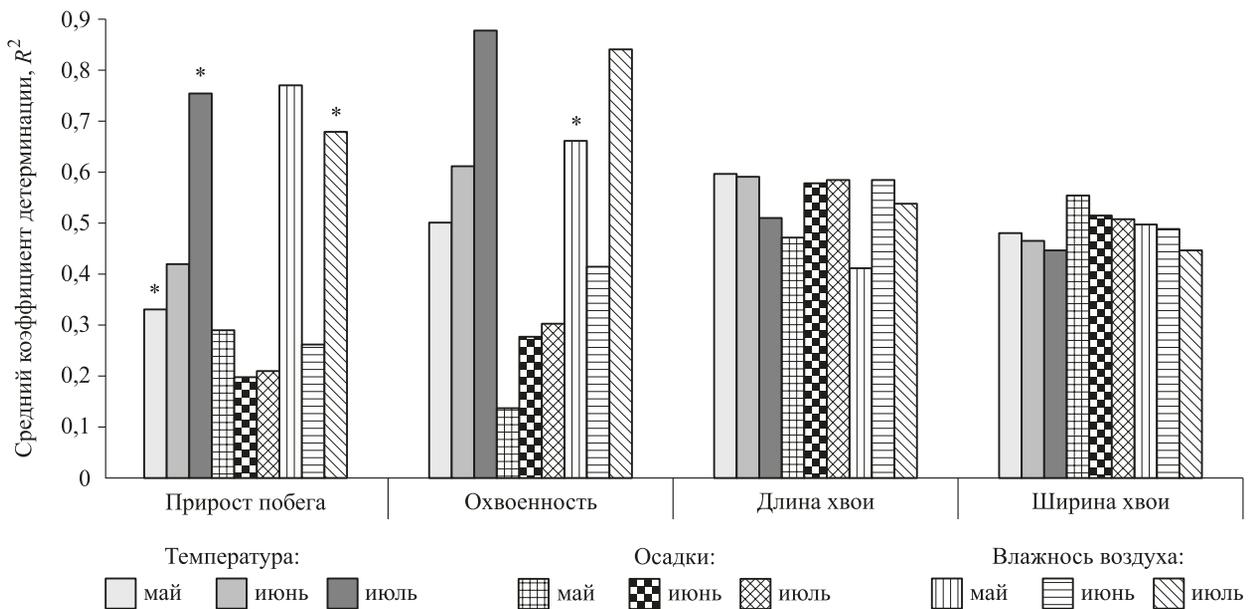
Проведенный корреляционный анализ показал, что годичный прирост побега на всем градиенте абсолютной высоты действительно отрицательно связан с температурой мая и июля, причем значимость июльской температуры существенно выше (средний коэффициент детерминации для июля 0.75, тогда как для мая – только 0.33) (рис. 3).

Большое влияние на данный признак оказывают также влажность воздуха мая и июля, что легко объяснимо, учитывая высокую требовательность пихты к этому экологическому фактору (Крылов и др., 1986). Однако следует отметить разнонаправленность влияния влажности воздуха на годичный прирост в разные месяцы: отмечена положительная корреляция для мая и отрицательная для июля, что объяснить сложно.

Необходимы наблюдения на более значительных промежутках времени. Кроме того, сле-

**Таблица 3.** Метеорологические характеристики 2018–2020 гг. (по данным метеостанции «Столбы»)

| Год                 | Среднемесячная температура, °С |      |      | Осадки, мм |      |      | Влажность воздуха, % |      |      |
|---------------------|--------------------------------|------|------|------------|------|------|----------------------|------|------|
|                     | Май                            | Июнь | Июль | Май        | Июнь | Июль | Май                  | Июнь | Июль |
| 2018                | 5.9                            | 18.7 | 16.3 | 42.2       | 56.2 | 43   | 74                   | 67   | 77   |
| 2019                | 8.0                            | 16.3 | 17.2 | 22.8       | 57.4 | 49.8 | 59                   | 71   | 82   |
| 2020                | 12.2                           | 13.5 | 17.2 | 56.2       | 112  | 147  | 68                   | 84   | 83   |
| Средние многолетние | 8.4                            | 15.8 | 17.2 | 54.2       | 73.7 | 83.7 | 63                   | 70   | 78   |



**Рис. 3.** Зависимость морфометрических признаков побега пихты сибирской в национальном парке «Красноярские Столбы» от метеорологических условий года (2018–2020 гг.).

\* Значения среднего коэффициента детерминации признаков, которые на всем градиенте высоты демонстрировали отрицательную корреляцию с соответствующим метеорологическим параметром.

довало бы учитывать разницу климатических условий на разной абсолютной высоте, но такие данные отсутствуют.

Охвоенность побега, тесно коррелирующая с его длиной (коэффициент корреляции варьирует на разной абсолютной высоте от  $-0.70$  до  $-0.99$ ), демонстрирует аналогичные закономерности (рис. 3). Значимость количества осадков для обоих признаков невелика.

Морфометрические характеристики хвои пихты сибирской подвержены влиянию всего комплекса метеорологических условий года и существенной разногодичной изменчивости не демонстрируют (рис. 3), что только подтверждает их диагностическую значимость.

Таким образом, метеорологические условия года могут оказывать существенное влияние на прирост побега и его охвоенность, однако делать уверенные заключения о конкретных значениях, учитывая небольшое время наблюдений – всего 3 года – безусловно, рано. Тем не менее в условиях все более явных проявлений глобальных изменений климата подобные исследования могут быть весьма актуальны с прогностической точки зрения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пихта сибирская на северном макросклоне Восточного Саяна на территории национального парка «Красноярские Столбы» встречается

в составе разных типов леса, демонстрируя отсутствие строгой фитоценотической приуроченности. Это свидетельствует о том, что она находится в условиях своего эколого-фитоценологического оптимума.

Основные морфометрические признаки побега пихты сибирской в изученных ценопопуляциях на территории национального парка варьируют преимущественно на среднем и низком уровне. Низкий и очень низкий уровень изменчивости характерен для признаков хвои, что свидетельствует о их высокой диагностической ценности.

Установлено, что по мере увеличения абсолютной высоты происходит статистически достоверное уменьшение годичного прироста, длины и ширины хвои пихты сибирской, а также увеличение охвоенности побега.

В 2019 и 2020 гг. по сравнению с 2018 г. наблюдалось уменьшение годичного прироста побегов, что может быть связано с повышенной температурой и низкой влажностью воздуха в мае. Корреляционный анализ демонстрирует значимую связь между температурой июля и влажностью воздуха мая и июля, годичным приростом и охвоенностью побега. Однако недостаток климатических данных и короткий промежуток наблюдений не позволяют сделать уверенных выводов.

*Работа выполнена при поддержке проекта FSRZ-2023-0007.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева Е. Н., Баккал И. Ю., Горшков В. В., Лянгузова И. В., Мазная Е. А., Нештаев В. Ю., Нештаева В. Ю., Ставрова Н. И., Ярмишко В. Т., Ярмишко М. А. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Бажина Е. В. Морфоструктура кроны деревьев пихты сибирской в лесных экосистемах гор Южной Сибири // Грант «Енисей-2007». 2007. № 7.
- Бажина Е. В. Жизненное состояние и элементный состав хвои пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb. в различных условиях произрастания в Западном Саяне // Сиб. лесн. журн. 2016. № 6. С. 103–112.
- Бажина Е. В., Сторожев В. П., Третьякова И. Н. Усыхание пихтово-кедровых лесов Кунецкого Алатау в условиях техногенного загрязнения // Лесоведение. 2013. № 2. С. 15–21.
- Бажина Е. В., Третьякова И. Н. К проблеме усыхания пихтовых лесов // Усп. совр. биол. 2001. Т. 121. № 6. С. 626–631.
- Бобров Е. Г. Лесообразующие хвойные СССР. М.: Наука, 1978. 187 с.
- Дэви Н. М., Кукарских В. В., Галимова А. А., Бубнов М. О., Зыков С. В. Современная динамика высокогорных лесов на Северном Урале: основные тенденции // Журн. Сиб. фед. ун-та. Биол. 2018. Т. 11. № 3. С. 249–259.
- Кокорин Д. В. Изменчивость морфологических признаков пихты сибирской в южных районах Средней Сибири: автореф. дис. ... канд с.-х. наук: 06.03.01. Красноярск: СибГТУ, 2003. 19 с.
- Кокорин Д. В., Милютин Л. И. Формовое разнообразие пихты сибирской в южных районах Средней Сибири // Лесоведение. 2003. № 4. С. 32–35.
- Крылов Г. В., Марадудин И. И., Михеев Н. И., Козакова Н. Ф. Пихта. М.: Агропромиздат, 1986. 239 с.
- Летопись природы государственного заповедника «Столбы». Красноярск, 2018–2020. Кн. 75–77.
- Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
- Маценко А. Е. Пихты восточного полушария // Флора и систематика высших растений. М.: Наука, 1964. Сер. 1. Вып. 13. С. 3–103.
- Поликарпов Н. И., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. Климат и горные леса Южной Сибири. М.: Наука, 1986. 226 с.
- Ростова Н. С. Изменчивость системы корреляций морфологических признаков. 1. Естественные популяции *Leucanthemum vulgare* (Asteraceae) // Бот. журн. 1999. № 11. С. 50–65.
- Харук В. И., Шушпанов А. С., Петров И. А., Демидко Д. А., Им С. Т., Кнорре А. А. Усыхание *Abies sibirica* Ledeb. в горных лесах Восточного Саяна // Сиб. экол. журн. 2019. Т. 26. № 4. С. 369–382.
- Шиятов С. Г., Терентьев М. М., Фомин В. В. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале // Экология. 2005. № 2. С. 83–90.
- Kharuk V. I., Shushpanov A. S., Petrov I. A., Demidko D. A., Im S. T., Knorre A. A. Fir (*Abies sibirica* Ledeb.) mortality in mountain forests of the Eastern Sayan Ridge, Siberia // Contemp. Probl. Ecol. 2019. V. 12. N. 4. P. 299–309 (Original Rus. text © V. I. Kharuk, A. S. Shushpanov, I. A. Petrov, D. A. Demidko, S. T. Im, A. A. Knorre, 2019, publ. in Sib. ekol. zhurn. 2019. N. 4. P. 369–382).
- Oyun Ch. Climate change and forest ecosystems // Spec. Sci. Transact. Mongolia, 2011. P. 122–129.
- Shiyatov S. G., Terent'ev M. M., Fomin V. V. Spatiotemporal dynamics of forest-tundra communities in the polar Urals // Rus. J. Ecol. 2005. V. 36. N. 2. P. 69–75 (Original Rus. text © S. G. Shiyatov, M. M. Terent'ev, V. V. Fomin, 2005, publ. in Ekologiya. 2005. N. 2. P. 83–90).

## **VARIABILITY OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF SIBERIAN FIR SHOOT BY ABSOLUTE HEIGHT GRADIENT IN THE NATIONAL PARK «KRASNOYARSKIE STOLBY»**

**A. V. Gireva<sup>1</sup>, O. M. Shabalina<sup>2</sup>, D. Yu. Pavlova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *National Park «Krasnoyarskie Stolby»*

*Karyernaya str., 26a, Krasnoyarsk, 660006 Russian Federation*

<sup>2</sup> *Siberian Federal University*

*Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation*

---

E-mail: [annamadworld@gmail.com](mailto:annamadworld@gmail.com), [shabalina11@bk.ru](mailto:shabalina11@bk.ru), [donation333@yandex.ru](mailto:donation333@yandex.ru)

The features of individual variability of morphometric characteristics of the shoot of Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.), growing at different altitudes on the northern macroslope of the Eastern Sayan in the territory of the Krasnoyarskie Stolby National Park, were studied. Siberian fir on the northern macroslope of the Eastern Sayan is found over the entire range of absolute heights – from low mountains to middle mountains. However, it was found as part of a tree stand in various forest types and does not demonstrate a strict phytocenotic association. Apparently, in this area, Siberian fir is in conditions of its ecological and phytocenotic optimum. The annual growth and leaf cover of the shoot varies at an average level, the length of the needles – mainly at a low level, the width of the needles – at a very low level. The length and width of needles, characterized by low variability, can be recommended for diagnostic purposes. A comparative analysis of the average values of the studied characteristics showed that as the absolute height increases, there is a statistically significant decrease in the annual growth, length and width of Siberian fir needles, as well as an increase in the shoot cover. Fir shoots from the Krasnoyarskie Stolby National Park (Eastern Sayan) are distinguished by higher values of annual growth, shoot cover and needle length, while the width of the needles is greater in fir from the Western Sayan. The observed differences may be associated not only with climatic differences in the regions, but also with different phytocenotic confinement of the studied cenopopulations. The annual growth of shoots and their cover significantly depend on the meteorological conditions of the year. A close correlation of these characteristics with the July temperature and air humidity in May and July is shown. There was no significant influence of weather conditions of the year on the morphometric characteristics of fir needles.

**Keywords:** *Abies sibirica* Ledeb., annual growth, length and width of needles, meteorological conditions, Eastern and Western Sayan.

**How to cite:** *Gireva A. V., Shabalina O. M., Pavlova D. Yu.* Variability of morphometric characteristics of Siberian fir shoot by absolute height gradient in the national park «Krasnoyarskie Stolby» // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 50–58 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*3 (571.6)

## КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ ДРЕВОСТОЕВ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ В СПЕЛЫХ И ПЕРЕСТОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

А. П. Ковалев, Е. В. Лашина

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

E-mail: a.p.kovalev51@mail.ru, lena\_blednyh@mail.ru

Поступила в редакцию 31.05.2023 г.

Формирование устойчивых древостоев при заготовке древесины в спелых и перестойных насаждениях во многом определяется применяемыми способами рубок и технологическими приемами их осуществления, что при сплошнолесосечных рубках прежде всего зависит от степени сохранения подроста, тонкомера и не подлежащих рубке деревьев, обеспечивающих ускоренное воспроизводство насаждений на вырубках. Среди технологий лесосечных работ этому способствуют узкопосечные технологические схемы с шириной пасек 15–30 м, позволяющие сохранять тонкомер и подрост свыше 60 %. При выборочном хозяйстве основной упор направлен на формирование ценных насаждений определенной полноты, возраста и структуры за счет интенсивности и равномерности выборки древесных пород, сохранения лесорастительной среды и условий произрастания основных лесообразователей. Здесь могут найти применение технологии, позволяющие проводить равномерную выборку деревьев по площади с сохранением послерубочной полноты не ниже 0.5. Целевой задачей исследований было выявление оптимальных приемов и способов рубок при заготовке древесины, обеспечивающих формирование устойчивых послерубочных насаждений для основных лесных формаций Дальнего Востока России.

**Ключевые слова:** лесосечные работы, сохранность подроста, лесная среда, Дальний Восток России.

DOI: 10.15372/SJFS20240207

### ВВЕДЕНИЕ

Устойчивость древостоев в основном определяется их способностью эффективно выполнять экологические, защитные и ресурсные функции. Критерий устойчивости при заготовке древесины спелых и перестойных насаждений напрямую зависит от приемов и способов эксплуатации древостоев. При сплошных рубках они определяются степенью сохранения и повреждения не подлежащих рубке деревьев и подроста предварительной генерации, которые в дальнейшем способны выполнять функции древостоев, т. е. при проведении рубок должно обеспечиваться своевременное и эффективное восстановление леса, сохранение и усиление его природоохранных функций. Как отмечал Г. Ф. Морозов (1928), «...рубить надо так, чтобы

уже во время рубки или, в крайних случаях, после рубки вновь начал расти лес».

При выборочных рубках основными критериями устойчивости древостоев является постоянно сохраняющиеся элементы леса определенной полноты и сомкнутости при равномерном распределении оставляемых на корню деревьев. Интенсивность и периодичность выборочных рубок определяется категорией лесов, полнотой и возрастной структурой древостоев, лесоводственными свойствами древесных пород, рельефом местности и почвенными условиями. Нами установлено, что среднее расстояние между оставляемыми деревьями при выборочных рубках в елово-пихтовых насаждениях не должно быть более 5 м, в лиственничных – 6 м, в хвойно-широколистных и лиственных древостоях – 7 м, что позволяет сохранить послерубочную

полноту в пределах действующих нормативов (Ковалев, Качанова, 2022).

Наряду со способами рубок в спелых и перестойных древостоях не менее важную роль в устойчивости и становлении насаждений играют лесосечные работы, от которых в основном зависит направление и динамика лесовозобновления на пройденных рубкой площадях, сохранность и повреждение деревьев и подроста, степень выполнения лесом охранно-защитных функций, характер нарушенности лесной среды. В последние годы в лес пришла новая тяжелая многооперационная техника. Внедрение ее требует неукоснительного соблюдения технологии лесозаготовительных работ. В противном случае возможны нежелательные экологические последствия: гибель подроста и не подлежащих рубке деревьев хозяйственно ценных пород, резкое ухудшение почвенных условий, развитие эрозионных процессов и увеличение поверхностного стока. Особенно большой вред лесным биогеоценозам промышленные рубки наносят в районах с легкоуязвимым экологическим балансом в горных притундровых лесах и насаждениях, произрастающих на длительно-мерзлотных и вечномерзлотных почвах.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным источником информации о характеристике лесного фонда исследуемых лесных районов российского Дальнего Востока послужили данные лесохозяйственных регламентов, Государственного лесного реестра и отчетов об исполнении переданных полномочий в области лесных отношений. Высокое разнообразие лесного покрова региона, от простых лиственничников и сосняков в Республике Саха (Якутия), Республике Бурятия и в Забайкалье до многопородных субтропических хвойно-широколиственных лесов Приморского и Хабаровского краев предопределяет здесь возможность назначения практически всех способов рубок и технологий лесосечных работ на базе различных лесозаготовительных машин и механизмов (Алексеенко, Ковалев, 2018). Для лесоводственно-экологической оценки последствий лесозаготовительного процесса использовались данные опытных разработок лесосек и материалы постоянных пробных площадей (Ефремов, 1990; Ковалев, Качанова, 2022).

При выборе оптимального способа рубок и технологии лесозаготовок учитывался целый

комплекс показателей, непосредственно влияющих на устойчивость древостоев: сохранение не подлежащей рубке части древостоя и подроста предварительной генерации, минимизацию повреждений деревьев в процессе рубки, возможность упорядочения динамического воздействия на поверхность почвы при движении техники и транспортировки лесной продукции, технические характеристики машин и агрегатов (Крупская, 1979; Чумин, 1989; Манько, 1996). При сплошных рубках использовались технологии лесосечных работ на базе агрегатных машин ЛП-18 и ЛП-19, а также с тракторной трелевкой ТТ-4 при валке деревьев бензомоторными пилами, при равномерно-выборочных рубках харвестерами и форвардерами «Тимберджек» и Приморская технология заготовки древесины.

В настоящее время основные объемы по заготовке древесины сосредоточены в шести лесных районах Дальневосточного федерального округа (ДФО): Приморском, Хабаровском и Забайкальском краях, Республике Бурятия, Республике Саха (Якутия) и Амурской области, в зоне елово-пихтовых, лиственничных, сосновых и хвойно-широколиственных лесов, которые и стали объектами наших исследований.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При рассмотрении различных аспектов заготовки древесины в спелых и перестойных насаждениях при сплошных рубках установлено, что в технологическом плане они отличаются только методами сохранения подроста, тонкомера и неподлежащих рубке деревьев. К настоящему времени роль и значение подроста в возобновлении вырубок на Дальнем Востоке изучены довольно подробно. Исследования в этом направлении показывают высокий лесоводственный эффект быстрого и качественного восстановления хозяйственно ценных лесов на вырубках за счет сохраненного при рубках подроста (Чумин и др., 1981; Манько, 1996; Манько, Усольцев, 2001). Менее изучена роль остающейся на месте рубок тонкомерной части древостоя, которой не уделялось достаточного внимания. Это особенно важно для дальневосточных разновозрастных елово-пихтовых лесов и производных зеленомошных лиственничников, имеющих под пологом 200 и более деревьев диаметром 6–14 см на 1 га. Основной причиной недооценки роли тонкомера является слабая ветроустойчивость деревьев ели (*Picea A. Dietr.*)

и пихты (*Abies Mill.*). Считается, что сильное изреживание елово-пихтового полога ведет к быстрому разрушению оставшейся на вырубке части древостоя, хотя специальных исследований почти не проводилось. Отдельные сведения о состоянии сохранных при рубках деревьев, семейных куртин и прилегающих к рубкам стен леса встречаются в работах многих дальневосточных ученых (Соловьев, 1958; Цуранов, 1965; Чумин, Юрченко, 1968), единых во мнении, что ветровалу в большей степени подвержены крупные спелые и перестойные деревья, которые через 1–2 года после проведения рубки погибают. Более молодые тонкомерные деревья, если они расположены группами, хорошо переносят изменения условий своего существования.

Анализ результатов, полученных нами при обследовании рубок и на опытно-производственных разработках лесосек показывают, что сохранность тонкомера при сплошных рубках, так же, как и подроста, в значительной мере зависит от применяемых приемов лесозаготовки. На рубках организованных разработок лесосек с соблюдением лесоводственных требований сохраняется, как правило, более половины тонкомерных деревьев. Часть деревьев, получивших повреждения при лесозаготовках (обычно до 30 % поврежденных – наклоненные, со сломом вершины или ствола), погибают. Среди других факторов, влияющих на выживаемость тонкомера на рубках, в качестве основных можно выделить экспозицию склона, переувлажнение участков и ветровал.

Выживаемость тонкомера в зависимости от экспозиции склонов и давности рубки можно рассмотреть на примере постоянных пробных площадей, заложенных на экспериментальных участках сплошных рубок с применением агрегатных машин ЛП-18 и ЛП-19 в ельниках зеленомошных типов леса (табл. 1, 2).

Как видно из табл. 1, на южных склонах происходит быстрое (в течение 1–3 лет) усыхание и разрушение тонкомера. Отпад его на 3-й год после рубки достигает 90 %. К концу 5-го года на рубках остаются лишь единичные (3–4 дерева/га), сильно угнетенные экземпляры ели и пихты, входившие в состав древостоя.

Массовое усыхание тонкомера на рубках южных склонов сопровождается высокой гибелью подроста предварительной генерации. Процессы естественного возобновления на таких рубках замедляются и растягиваются на долгие годы.

Одной из причин столь значительного усыхания тонкомеров может быть экстремально высокие температуры у поверхности почвы на склонах южной экспозиции, достигающие в отдельные периоды 60 °С и выше, что приводит к иссушению подстилки и верхнего корнеобитаемого слоя почвы до критического для древесных пород уровня (почвенная засуха). На северных склонах отпад среди сохранных тонкомера менее высокий. На усохшие и вывалившиеся деревья здесь приходится в среднем не более 35 %. Среди погибших преобладают поврежденные в период рубки и ослабленные

**Таблица 1.** Характеристика тонкомера на сплошных рубках в ельниках зеленомошных типов леса в зависимости от экспозиции склона и давности рубки

| Показатель                                 | Северные склоны, номер пп |               |               |                       |                       |                       | Южные склоны, номер пп |                        |               |                        |               |               |
|--|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|
|  | 1–78                      |               |               | 5–79                  |                       |                       | 2–78                   |                        |               | 7–79                   |               |               |
|  | в год рубки               | через 3 года  | через 5 лет   | в год рубки           | через 3 года          | через 5 лет           | в год рубки            | через 3 года           | через 5 лет   | в год рубки            | через 3 года  | через 5 лет   |
| Состав по запасу                           | 5.0П<br>5.0Еа             | 6.3Еа<br>3.7П | 7.2Еа<br>2.8П | 5.0Еа<br>4.0П<br>1.0Л | 6.1П<br>3.0Еа<br>0.9Л | 6.0П<br>3.0Еа<br>1.0Л | 4.7Еа<br>4.3П<br>1.0Л  | 5.0Еа<br>5.0П<br>3.3Еа | 6.7П<br>3.3Еа | 7.2Еа<br>2.7П<br>0.1Бп | 5.8Еа<br>4.2П | 5.0Еа<br>5.0П |
| Число деревьев, шт./га                     | 148                       | 119           | 98            | 114                   | 79                    | 70                    | 124                    | 8                      | 3             | 256                    | 35            | 4             |
| Средний диаметр, см                        | 11.9                      | 11.0          | 11.2          | 12.0                  | 11.0                  | 11.0                  | 10.3                   | 8.0                    | 8.0           | 12.0                   | 8.8           | 8.0           |
| Средняя высота, м                          | 10.3                      | 10.4          | 10.6          | 10.5                  | 10.0                  | 9.8                   | 10.7                   | 7.6                    | 7.1           | 11.7                   | 8.4           | 7.5           |
| Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га | 1.45                      | 0.94          | 0.81          | 1.1                   | 0.64                  | 0.63                  | 1.51                   | 0.04                   | 0.01          | 1.9                    | 0.28          | 0.02          |
| Запас, м <sup>3</sup> /га                  | 10.8                      | 8.6           | 8.1           | 9.0                   | 3.8                   | 3.7                   | 10.5                   | 0.2                    | 0.1           | 12.1                   | 1.9           | 1.12          |

*Примечание.* Здесь и далее: Еа – ель аянская (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière), П – пихта белокорая (*Abies nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.) Maxim.), Л – лиственница Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), син. л. даурская, Бп – береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukaczew).

**Таблица 2.** Статистические характеристики таксационных показателей тонкомера на сплошных вырубках в ельниках зеленомошных типов леса в зависимости от давности рубок (по данным табл. 1)

| Номер ппп       | Давность рубки | Диаметр, см |             |      |          |       |       | Высота, м |             |      |          |       |       |
|-----------------|----------------|-------------|-------------|------|----------|-------|-------|-----------|-------------|------|----------|-------|-------|
|                 |                | $X$         | $\bar{X}_s$ | $D$  | $\sigma$ | $V$   | $S_e$ | $X$       | $\bar{X}_s$ | $D$  | $\sigma$ | $V$   | $S_e$ |
| Северные склоны |                |             |             |      |          |       |       |           |             |      |          |       |       |
| 1–78            | В год рубки    | 11.9        | 0.80        | 5.56 | 2.35     | 19.87 | 0.65  | 10.3      | 0.69        | 4.49 | 2.12     | 20.47 | 0.59  |
|                 | Через 3 года   | 11.0        | 0.73        | 4.50 | 2.12     | 19.28 | 0.59  | 10.4      | 0.62        | 2.54 | 1.59     | 15.31 | 0.44  |
|                 | Через 5 лет    | 11.2        | 0.89        | 4.28 | 2.06     | 18.52 | 0.57  | 10.6      | 0.61        | 2.57 | 1.60     | 15.08 | 0.44  |
| 5–79            | В год рубки    | 11.9        | 0.83        | 2.97 | 1.72     | 14.83 | 0.48  | 10.5      | 0.80        | 4.87 | 2.21     | 20.98 | 0.61  |
|                 | Через 3 года   | 10.9        | 0.57        | 5.25 | 2.29     | 22.10 | 0.63  | 10.1      | 0.60        | 2.65 | 1.63     | 15.88 | 0.49  |
|                 | Через 5 лет    | 11.0        | 0.61        | 4.67 | 2.16     | 19.72 | 0.59  | 9.8       | 0.62        | 3.25 | 1.80     | 18.32 | 0.50  |
| Южные склоны    |                |             |             |      |          |       |       |           |             |      |          |       |       |
| 2–78            | В год рубки    | 10.3        | 0.54        | 4.94 | 2.22     | 21.48 | 0.61  | 10.7      | 0.88        | 3.82 | 1.96     | 18.23 | 0.54  |
|                 | Через 3 года   | 8.0         | 0.56        | 4.29 | 2.07     | 26.02 | 0.57  | 7.6       | 0.43        | 1.85 | 1.36     | 17.92 | 0.38  |
|                 | Через 5 лет    | 8.1         | 0.63        | 1.93 | 1.39     | 17.06 | 0.42  | 7.1       | 0.49        | 1.89 | 1.37     | 18.84 | 0.40  |
| 7–79            | В год рубки    | 12.3        | 0.92        | 4.98 | 2.23     | 18.09 | 0.67  | 11.7      | 0.82        | 5.24 | 2.29     | 19.61 | 0.63  |
|                 | Через 3 года   | 8.8         | 0.54        | 3.01 | 1.74     | 19.83 | 0.48  | 8.4       | 0.43        | 1.92 | 1.39     | 16.57 | 0.38  |
|                 | Через 5 лет    | 8.0         | 0.53        | 2.69 | 1.64     | 20.49 | 0.46  | 7.4       | 0.53        | 1.81 | 1.34     | 18.34 | 0.37  |

*Примечание.*  $X$  – среднеарифметическое значение (высота, м; диаметр, см);  $\bar{X}_s$  – ошибка среднего арифметического;  $D$  – дисперсия;  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $V$  – коэффициент вариации;  $S_e$  – стандартная ошибка.

энтмовредителями (усачами) деревья. Отпад среди тонкомерных деревьев лиственницы очень незначительный. Даже одиночно стоящие на вырубке деревья быстро приспособляются к новым условиям среды и увеличивают прирост по диаметру более чем в 2 раза. При благоприятных условиях плодоношение у тонкомера лиственницы (чаще в куртинах деревьев) происходит уже на 2–3-й год после рубки, тогда как у ели и пихты появление шишек отмечено лишь через 5–7 лет после рубки.

На переувлажненных участках вырубок гибель сохранных тонкомерных деревьев происходит несколько медленнее. Период полного разрушения тонкомера растягивается на 5–6 лет. В отдельных случаях на склонах крутизной свыше 10°, где лесозаготовки велись агрегатными машинами, усыхание тонкомера происходит за счет интенсивного оттока воды к волокам, которые способствуют иссушению территории. Это отмечено только на лесосеках, где ширина пазов не превышает 10 м, а глубина колеи на волоках достигает 50 см.

Влияние ветра на сохранные при рубке тонкомерные деревья, как показали наблюдения, не столь существенное. Ветровалу подвержен лишь тонкомер с частично оборванной корневой системой и крупные деревья из недоруба. В частности, даже при сильных (ураганных) ветрах, когда наблюдалось значительное разрушение прилегающей к вырубке стены леса

(вывалилось около 50 % всех деревьев в глубину леса до 40 м), отпад среди тонкомера на открытом пространстве составил немногим более 8 %.

Наблюдения, проведенные на постоянных пробных площадях, заложенных на восточном склоне в ельнике мелкопапоротниково-зеленомошном, разработанных ЛП-18 и ЛП-19 с объездным волоком, показывают, что наличие на вырубках даже незначительного числа тонкомерных деревьев благоприятно сказывается на адаптации подростка предварительной генерации. Его выживаемость в этом случае в 2–2.5 раза выше, чем на участках с полностью уничтоженным тонкомером (табл. 3).

Лесоводственное значение тонкомера, сохранных при рубках по заготовке древесины, не ограничивается его защитной ролью в отношении хвойного подростка. Во многих случаях не менее важна его роль в формировании основного полога будущих древостоев. Так, на разнокустарниковых вырубках ельника мелкотравно-зеленомошного, разработанного с использованием трактора ТТ-4 с направленной валкой деревьев бензопилой, через 9–12 лет после рубки сформировались высокосомкнутые молодняки (сомкнутость крон 0.7–0.8) с общим запасом до 60 м³/га из тонкомера и подростка ели и пихты, сохранных при сплошных рубках (табл. 4).

Под пологом тонкомера насчитывается до 8.5 тыс. шт./га хвойного и лиственного подростка предварительной и последующей генера-

Таблица 3. Выживаемость подроста на вырубке в зависимости от наличия тонкомера

| Номер ппп | Древесная порода | Количество тонкомера через 3 года после рубки, шт./га | Количество подроста по категориям высот и времени учета, тыс. шт./га |           |                |                          |           |                |
|-----------|------------------|---|--|-----------|----------------|--------------------------|-----------|----------------|
|           |                  |   | в год рубки  |           |                | через 3 года после рубки |           |                |
|           |                  |   | до 50 см   | 51–150 см | 151 см и более | до 50 см                 | 51–150 см | 151 см и более |
| 4         | Еа               | 49  | 2.7  | 0.8       | 0.4            | 2.6                      | 0.5       | 0.2            |
|           | П                | 47  | 0.7  | 0.2       | 0.4            | 1.8                      | 0.3       | 0.1            |
|           | Итого...         | 96  | 3.4  | 1.0       | 0.8            | 4.4                      | 0.8       | 0.3            |
| 7         | Еа               | –   | 1.3  | 1.1       | 0.3            | 0.8                      | 0.3       | –              |
|           | П                | 4   | 2.1  | 0.8       | 0.7            | 1.1                      | 0.2       | –              |
|           | Итого...         | 4   | 3.4  | 1.9       | 1.0            | 1.9                      | 0.5       | –              |

Таблица 4. Лесоводственно-таксационная характеристика молодняков на сплошных вырубках ельника мелкотравно-зеленомошного

| Номер ппп | Состав древостоя | Количество деревьев, шт./га | Высота, м |             |      |          |       | Диаметр, см |             |      |          |       | Сомкнутость крон | Запас, м <sup>3</sup> /га |
|-----------|------------------|-----------------------------|-----------|-------------|------|----------|-------|-------------|-------------|------|----------|-------|------------------|---------------------------|
|           |                  |                             | $X$       | $\bar{X}_s$ | $D$  | $\sigma$ | $S_e$ | $X$         | $\bar{X}_s$ | $D$  | $\sigma$ | $S_e$ |                  |                           |
| 1         | 7.3П2.6Еа0.1Бп   | 1244                        | 9.1       | 0.60        | 6.28 | 2.51     | 0.69  | 10.4        | 0.59        | 1.78 | 1.33     | 0.42  | 0.9              | 59.4                      |
| 3         | 5.8П4.1Еа0.1Бп   | 1812                        | 10.1      | 0.63        | 2.09 | 1.45     | 0.40  | 9.20        | 0.62        | 2.90 | 1.70     | 0.57  | 0.8              | 41.7                      |

Примечание.  $X$  – среднеарифметическое значение;  $\bar{X}_s$  – ошибка среднего арифметического;  $D$  – дисперсия;  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $S_e$  – стандартная ошибка.

ций. Средний возраст нового насаждения около 70 лет. За последние 5 лет ежегодный прирост по высоте у тонкомера составил в среднем 24 см, тогда как в лесу он не превышал 5 см. Замеры текущего среднепериодического прироста по диаметру показали, что за послерубочный период он увеличился более чем в 2 раза по сравнению с пологом леса. У ели ежегодный прирост по диаметру в ступени толщины 8 см на разнокустарниковой вырубке составляет 9.1 мм, тогда как в лесу только 3.5 мм. Для пихты этот показатель равен 4.8 мм на вырубке и 3.3 мм в лесу. В ступени толщины 12 см прирост у ели – 1.8 мм, пихты – 2.5 мм на вырубке и соответственно 0.6 и 1.2 мм под пологом древостоя.

На вырубках, где при лесозаготовках были сохранены только единичные или небольшие группы тонкомерных деревьев, существенного участия в формировании новых древостоев тонкомер не принимает, оставшиеся деревья, как правило, быстро усыхают и вываливаются, а выжившие экземпляры не дают прирост в высоту. Текущий прирост по диаметру у них также очень незначительный (0.2–0.6 мм/год).

Таким образом, тонкомерные деревья во многих случаях способствуют формированию устойчивых древостоев при сплошных рубках.

Аналогичные показатели получены и при оставлении на корню деревьев лиственных по-

род с ограниченным или полным отсутствием спроса на их древесину. Нами обследованы лесосеки в хвойно-широколиственных лесах, где в составе древостоев повсеместно присутствует береза желтая (*Betula costata* Trautv.), товарность которой очень низкая. Выход деловой древесины из деревьев, заготавливаемых при рубках, составляет 13–28 % (Ковалев, 2003).

Положительная роль оставленных на корню деревьев березы желтой особенно заметна при лесовосстановлении на сплошных вырубках. При заготовке древесины по Приморской технологии (бензопила + ТТ-4 с трелевкой за вершину) в елово-пихтовом насаждении 5Еа2ПЗБж, полнотой 0.8 в процессе лесосечных работ в одном случае полностью вырубались все деревья, в другом на корню оставлялась береза желтая. Учет подроста на вырубках показал, что оставление на корню березы желтой способствует созданию благоприятных условий для выживания и роста подроста предварительной генерации (табл. 5).

Под пологом березы желтой через 2 года после рубки выживаемость подростка достигает 90 % и более. На лесосеках, где она вырубалась, сохранность хвойного подроста за этот период не превышала 50 %. Благодаря оставлению на вырубках березы желтой существенно сдерживается заселение их травянистой растительностью.

**Таблица 5.** Характеристика хвойного подроста на лесосеках елово-пихтовых лесов при вырубке или оставлении на корню березы желтой

| Номер пп   | Порода   | В год рубки             |                  | Через 2 года            |                  |
|--|----------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
|  |          | Количество, тыс. шт./га | Встречаемость, % | Количество, тыс. шт./га | Встречаемость, % |
| Вариант сплошнолесосечный, с вырубкой Бж             |          |                         |                  |                         |                  |
| 1–93   | Еа       | 1.18                    |                  | 0.50                    |                  |
|  | П        | 2.39                    |                  | 1.04                    |                  |
|  | К        | 0.02                    |                  | 0.02                    |                  |
|  | Всего... | 3.59                    | 42               | 1.56                    | 30               |
| 2–93   | Еа       | 1.61                    |                  | 0.70                    |                  |
|  | П        | 3.08                    |                  | 1.60                    |                  |
|  | К        | 0.03                    |                  | 0.02                    |                  |
|  | Всего... | 4.72                    | 58               | 2.32                    | 34               |
| Вариант сплошнолесосечный, с оставлением Бж на корню |          |                         |                  |                         |                  |
| 3–93   | Еа       | 1.42                    |                  | 1.20                    |                  |
|  | П        | 0.9                     |                  | 0.80                    |                  |
|  | К        | 0.02                    |                  | 0.02                    |                  |
|  | Всего... | 2.34                    | 65               | 2.02                    | 65               |
| 4–93   | Еа       | 2.18                    |                  | 1.96                    |                  |
|  | П        | 1.65                    |                  | 1.60                    |                  |
|  | К        | 0.08                    |                  | 0.05                    |                  |
|  | Всего... | 3.91                    | 69               | 3.61                    | 67               |

Примечание. Кедр – кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), Бж – береза желтая.

Проективное покрытие вырубки вейником Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin.) на открытом пространстве через 2 года составляет 86 %; при оставлении на корню березы желтой в количестве 10–12 шт./га – лишь 45 %. В целом береза желтая на сплошных рубках способствует сохранению лесной обстановки и благоприятствует прорастанию семян и появлению всходов древесных пород. На момент последнего учета на пробных площадях появилось на волоках и минерализованных участках пазек до 3.0 тыс. шт./га всходов березы, кедра, ели и пихты. Хвойные породы встречались исключительно под пологом или вблизи проекции крон березы желтой.

При несплошных рубках заготовка древесины в наименьшей степени оказывает отрицательное воздействие на насаждение. Лесоводственную эффективность добровольно-выборочных рубок можно проследить на опытно-производственных участках, заложенных на среднем Сихотэ-Алине (табл. 6).

Основные параметры организационно-технических элементов рубок в основном выдержаны. Для обеспечения устойчивости оставшихся на вырубке древостоев против ветра практически не вырубались береза плосколистная и осина.

Использовались узкопосечная технология на базе бензопил и трелевочных тракторов с чокерной оснасткой с трелевкой хлыстов за вершину и сортиментная технология с валкой и раскряжевкой бензопилами с последующим сбором сортиментов форвардером (ппп 6 и 38).

Интенсивность выборки запаса оказалась на 3–5 % выше запланированной. Это в основном связано с вывалом деревьев у волока при вытревевке из пазеки срубленных деревьев за вершину. Доля деревьев без повреждений на пазеке составляет более 80 %.

Аналогичная картина наблюдается и по сохранению подроста, чем выше интенсивность рубки, тем меньше его сохранность и выше повреждаемость.

Повреждения поверхности почвы – преимущественно на волоках, где минерализация может достигать 12 % площади волоков. В пазеках отмечено в основном рыхление подстилки и верхнего гумусового горизонта почвы.

Дальнейшие наблюдения на пробных площадях показывают вполне устойчивое состояние древостоев. Отпад отдельных поврежденных деревьев в большинстве отмечен вблизи волоков в нижней части склонов и может достигать 15–20 % от общего числа деревьев на опытном

Таблица 6. Лесоводственно-таксационные характеристики добровольно-выборочных рубок на опытных участках

| Номер опытного участка и ппп, экспозиция, уклон | Состав древостоя                              | Количество деревьев, шт./га | Запас, м <sup>3</sup> /га | Плотота      | Интенсивность рубки, % | Повреждение оставшихся деревьев, % | Состав подроста                            | Распределение подроста по группам высот, тыс. шт./га |            |                | Сохранность подроста, % | Повреждение сохраненного подроста, % |
|---|---|-----------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|------------------------------------|--|--|------------|----------------|-------------------------|--------------------------------------|
|   |   |                             |                           |              |                        |                                    |  | до 50 см   | 51–150 см  | 151 см и более |                         |                                      |
| 1   | 2   | 3                           | 4                         | 5            | 6                      | 7                                  | 8  | 9  | 10         | 11             | 12                      | 13                                   |
| 6, ппп 51, СВ, 17°                              | 7.3Еа1.5П1.0Бп0.2К<br>6.8Еа1.9П1.3Бп          | 849<br>666                  | 229<br>117                | 0.78<br>0.42 | 49                     | 36<br>32*                          | 6.4Еа2.5П1.1Бп<br>6.6Еа2.1П1.3Бп           | 45<br>39   | 1.3<br>0.8 | 3.8<br>1.5     | 65                      | 24<br>14*                            |
| 2, ппп 38, СЗ, 19°                              | 5.5Еа3.4П0.8Бп 0.2ЛЮ.1К<br>4.6П4.0Еа1.3Бп0.1К | 1485<br>1009                | 184<br>112                | 0.82<br>0.56 | 39                     | 18<br>9*                           | 5.3П4.4Еа0.3Бп<br>5.4П4.3Еа0.3Бп           | 4.8<br>4.0   | 3.3<br>2.2 | 2.1<br>1.0     | 71                      | 8<br>4*                              |
| 9, ппп 11 СВ, 16°                               | 4.7Еа3.9П1.4Бп<br>4.7Еа3.7П1.6Бп              | 1360<br>1078                | 270<br>195                | 0.80<br>0.56 | 28                     | 15<br>7*                           | 5.3Еа4.2П0.5Бп<br>5.4Еа4.3П0.3Бп           | 1.6<br>1.3   | 1.4<br>0.8 | 1.3<br>0.7     | 67                      | 11<br>7*                             |
| 21, ппп 6, 3, 15°                               | 8.7ЛЮ.6Бп0.7Ос<br>5.8ЛЗ.2Ос1.0Бп              | 540<br>339                  | 278<br>181                | 0.8<br>0.4   | 35                     | 14<br>10*                          | 3.0Еа1.9ЛЗ.0Ос2.1Бп<br>2.1Еа2.0ПЗ.6Ос2.3Бп | 1.1<br>0.9   | 3.7<br>2.8 | 3.2<br>2.1     | 72                      | 14<br>6*                             |

Примечание. Над чертой – до рубки древостоя, под чертой – после рубки; Ос – осина Давида (*Populus davidiana* Dode).

\* Повреждено до степени прекращения роста из общего числа поврежденных.

участке. Вываливание и усыхание поврежденных деревьев наблюдалось в течение 3–5 послерубочных лет. Затем насаждение стабилизировалось и эффективно развивалось. Подрост, сохраненный под пологом леса, также успешно адаптировался к новым условиям, и уже на следующий год показал активный рост.

Погибает в основном подрост, получивший повреждение при лесозаготовках в виде слома стволика и отрыва корней от почвы. На волоках последующему возобновлению мешают быстро развивающаяся злаковая растительность и ранние весенние заморозки.

Среди технологических схем лесосечных работ при выборочных рубках наиболее приемлемы узкопосечные технологии на базе трелевочных тракторов с чокерной оснасткой при валке деревьев бензопилами, многооперационные харвестеры и форвардеры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование устойчивых древостоев при заготовке древесины в спелых и перестойных насаждениях во многом определяется состоянием и структурой назначенного в рубку участка лесного фонда, применяемым способом рубки и технологией лесосечных работ с набором экологических лесозаготовительных машин и механизмов. Именно они определяют успешность и направление лесовосстановительных процессов, сохранение и повреждение не подлежащих рубке деревьев, подроста и окружающей природной среды, которые в дальнейшем обеспечивают создание целевых и устойчивых насаждений на пройденных рубкой площадях.

При сплошных рубках устойчивые древостои в дальнейшем формируются из сохраненного молодняка и не подлежащих рубке деревьев и напрямую зависят от применяемой на лесосечных работах технологии лесозаготовок. Наиболее успешно восстанавливаются вырубки с наибольшим количеством сохраненного подроста и тонкомера, получившего минимальные повреждения в процессе заготовки древесины. Наличие тонкомерных и оставленных на вырубке лиственных ширококронных деревьев способствует успешной адаптации подроста целевых пород к новым условиям среды и его стабильный рост уже в первые годы после рубки.

Устойчивые древостои при выборочных рубках зависят от интенсивности и периодичности рубки, сохранности и повреждаемости оставляемых деревьев и молодого поколения леса. Сохранение оптимальной послерубочной полноты не ниже 0.5 для хвойных и 0.4 для лиственных пород позволяет вполне успешно формировать новые древостои целевых насаждений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А. Ю., Ковалев А. П.* Выбор природосберегающих видов рубок и технологии лесосечных работ для разновозрастных лесов и малонарушенных лесных территорий Дальнего Востока // Устойчивое лесопользование. 2018. № 2. С. 19–28.
- Ефремов Д. Ф.* Лесопользование на Дальнем Востоке: проблемы и пути решения // Лесн. хоз-во. 1990. № 7. С. 2–7.
- Ковалев А. П.* О рубке березы желтой в лесах Дальнего Востока // Тр. ДальНИИЛХ. 2003. Вып. 36. С. 92–100.
- Ковалев А. П., Качанова Т. Г.* Лесоводственная оценка технологий заготовки древесины в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока // Сиб. лесн. журн. 2022. № 6. С. 3–10.
- Крупская Л. Т.* Изменение биологической активности горных буротаежных почв при лесозаготовке // Защитное лесоразведение и рациональное использование зеленых ресурсов в горах. Ташкент: Среднеазиатский институт лесного хозяйства, 1979. С. 126–127.
- Манько Ю. И.* Географические особенности лесообразовательного процесса в темнохвойных лесах Дальнего Востока // Лесоведение. 1996. № 2. С. 3–11.
- Манько Ю. И., Усольцев В. М.* Особенности адаптации предварительного подроста на вырубках в пихтово-еловых лесах центральной и северо-восточной части Приморского края // Классификация и динамика лесов Дальнего Востока: Материалы Междунар. конф., 5–7 сентября 2000 г. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 342–343.
- Морозов Г. Ф.* Учение о лесе. М.; Л.: Сельхозгиз, 1928. 365 с.
- Соловьев К. П.* Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока и хозяйство в них. Хабаровск: Кн. изд-во, 1958. 368 с.
- Цуранов В. П.* Об отпаде в стенах пихтово-еловых лесов (Приамурья) 1 // Лесоводственные иссл. на Дальнем Востоке. Владивосток: БПИ ДВФ СО АН СССР, 1965. Вып. 1. С. 169–173.
- Чумин В. Т., Юрченко Г. И.* О сроках примыкания лесосек в ельниках Приамурья // Лесн. пром-сть. 1968. № 2. С. 14–15.
- Чумин В. Т., Ковалев А. П., Обручников С. Г.* Влияние сплошных рубок с применением агрегатных машин на сохранность тонкомера и подроста // Лесн. хоз-во. 1981. № 1. С. 12–14.
- Чумин В. Т.* Дальневосточное лесоводство: проблемы, пути решения // Лесн. хоз-во. 1989. № 1. С. 10–12.

## **CRITERIA FOR THE SUSTAINABILITY OF TREE STANDS DURING TIMBER HARVESTING IN MATURE AND OVERMATURE STANDS**

**A. P. Kovalev, E. V. Lashina**

*Far East Forestry Research Institute*

*Volochnaevskaya str., 71, Khabarovsk, 680020 Russian Federation*

---

E-mail: a.p.kovalev51@mail.ru, lena\_blednyh@mail.ru

The formation of sustainable tree stands during timber harvesting in mature and overmature stands is largely determined by logging methods used and the technological methods for their implementation. In clear-cutting, this, first of all, depends on the degree of preservation of undergrowth, small size trees and trees that are not subject to felling, ensuring accelerated reproduction of stands in cleared areas. Among logging technologies, this is facilitated by narrow felling technological schemes with logging widths of 15–30 m, which allow maintaining undergrowth and undergrowth of over 60 %. In selective felling, the main emphasis is on the formation of valuable stands of a certain density, age and structure due to the intensity and uniformity of the selection of tree species, the preservation of forest growing environment and the growing conditions of the main forest-forming species. Here technologies can be used that allow for a uniform selection of trees over an area while maintaining post-harvesting density of at least 0.5. The goal of the study was to identify optimal techniques and methods of felling during timber harvesting, ensuring the formation of sustainable post-logging tree stands for the main forest formations of the Russian Far East.

**Keywords:** *logging operations, preservation of undergrowth, forest environment, Russian Far East.*

**How to cite:** *Kovalev A. P., Lashina E. V. Criteria for the sustainability of tree stands during timber harvesting in mature and overmature stands // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 59–67 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*52:630\*174.754

## УВЕЛИЧЕНИЕ ОХВОЕННОСТИ ПОБЕГОВ В ШИРОТНОМ ГРАДИЕНТЕ КАК КОМПЕНСАТОРНАЯ РЕАКЦИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА СНИЖЕНИЕ СУММЫ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР

И. С. Цепордей

Ботанический сад УрО РАН  
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

E-mail: ivan.tsepordey@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.10.2023 г.

В достижении соответствия функционирования растения окружающей среде важную роль играют его поведенческие реакции, ослабляющие лимитирующее влияние абиотических факторов. Одной из таких приспособленческих реакций является компенсация (замещение) действия одного фактора воздействием близкого другого. Известно, что с ухудшением условий произрастания в общей фитомассе увеличивается масса ассимиляционного аппарата, тем самым компенсируя его пониженную активность в этих условиях. В целом повышение густоты хвои на побегах увеличивает коэффициент поглощения фотосинтетически активной радиации (ФАР) и отражает повышенную компенсаторную способность в неблагоприятных абиотических условиях. Целью нашего исследования было подтвердить или опровергнуть гипотезу компенсации факторов на примере изменения охвоенности побегов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в градиенте суммы эффективных температур, на территории Северной Евразии. На основе авторской базы данных, включающей 490 определений доли хвои в массе охвоенных побегов, построена регрессионная модель зависимости охвоенности от возраста, диаметра ствола и суммы эффективных температур, объясняющая 40 % изменчивости искомого показателя. Установлена обратно пропорциональная зависимость охвоенности побегов от суммы эффективных температур. Тем самым подтверждена гипотеза компенсации пониженной суммы эффективных температур (и соответствующего уровня ФАР) увеличением охвоенности побегов и соответствующего коэффициента поглощения ФАР.

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L., доля хвои в массе охвоенных побегов, сумма эффективных температур, компенсаторная реакция, регрессионная модель.

DOI: 10.15372/SJFS20240208

### ВВЕДЕНИЕ

Лесные экосистемы находятся в диалектическом единстве с окружающей средой, и познание их взаимоотношений является центральной задачей лесоведения (Лиёпа, 1980). В достижении соответствия функционирования растения окружающей среде важную роль играют его поведенческие реакции, обусловленные внутренней физиологической регуляцией. Для ослабления лимитирующего влияния абиотических факторов, растения приспосабливаются. Одной из таких приспособленческих реакций является компенсация (замещение) действия одного фактора воздействием близкого другого (Одум,

1975). Согласно гипотезе компенсации (замещения) экологических факторов, отсутствие или недостаток некоторых экологических факторов может быть компенсирован каким-либо другим близким (аналогичным) фактором (Алехин и др., 1935; Rübel, 1935; Piemeisel, 1945, 1954; Дадькин, 1952; Розенберг, Краснощеков, 2016; Розенберг и др., 2016; Usoltsev et al., 2022). При этом внутренние причины экологических явлений при аналогичном внешнем эффекте могут быть различными. Ю. Одум (1975) и Г. С. Розенберг с соавт. (2016) привели многочисленные примеры подобной компенсации факторов.

Известно, что с ухудшением условий произрастания увеличивается доля массы ассимиля-



**Рис. 1.** Охвоенность побегов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в черте г. Екатеринбурга. Фото В. А. Усольцева.

*a* – в естественной среде на пустыре; *б* – при пересадке дерева в урбанизированную среду.

ционного аппарата в общей фитомассе, тем самым компенсируя его пониженную активность в этих условиях. Установлено, в частности, что доля хвои и листьев в массе кроны у лиственницы (*Larix* Mill.), березы (*Betula* L.), осины (*Populus tremula* L.), дуба (*Quercus* L.) и ели (*Picea* A. Dietr.) увеличивается прямо пропорционально степени угнетения дерева по Крафту, или обратно пропорционально диаметру ствола (Яблоков, 1934; Смирнов, 1971). В березняках Северного Казахстана доля листьев в массе кроны возрастает пропорционально снижению добротности местопроизрастаний (Усольцев, 1974). В ельниках Европейской части России доля хвои в надземной части возрастает по мере ухудшения условий произрастания в ряду типов леса от чернично-кисличного (I класс бонитета) к осоково-сфагновому (Va класс бонитета) (Алексеев, 1975). Аналогичная закономерность отмечена в сосняках Архангельской области: общая масса хвои на средней ветви составляет в сосняке черничном 12 г, сосняке кустарничко-

во-сфагновом – 40 г, сосняке чернично-сфагновом – 25 г (Прыгов и др., 2000).

У многих хвойных видов обнаружено увеличение густоты хвои на побегах по мере повышения степени загрязнения среды (Schubert, 1985; Ярмишко, 1997; Зарубина, 2011; Тарханов, 2011). В целом густота хвои на побегах отражает повышенную компенсаторную способность в неблагоприятных абиотических условиях (Зверев, 2012), а наряду с этим – возможное действие принципа агрегации особей Олли (Одум, 1975). Компенсаторная способность у сосны обыкновенной может проявляться также при пересадке дерева из естественной среды в урбанизированную (рис. 1).

Исследованиями В. П. Дадькина (1952) установлено, что в условиях Севера продуктивность растений может быть сопоставима с их продуктивностью в умеренных широтах, что объясняется повышенной интенсивностью фотосинтеза, нейтрализующей действие укороченного вегетационного периода. А. Г. Молчанов (2007)

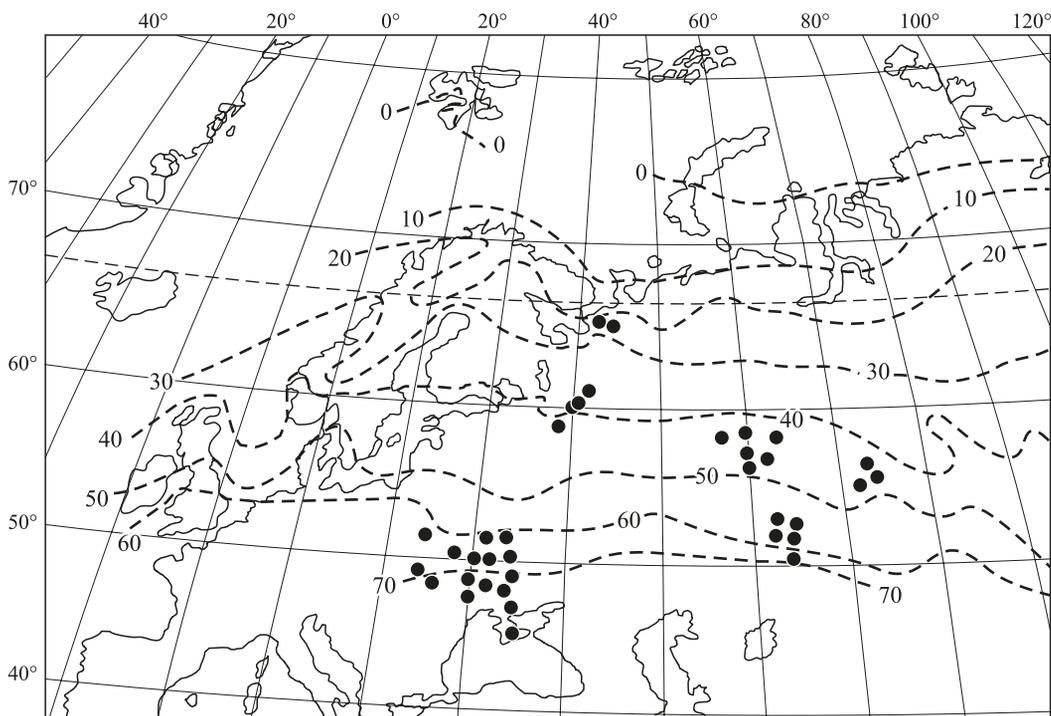
показал увеличение коэффициента поглощения фотосинтетически активной радиации (ФАР) у сосны обыкновенной и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) по мере увеличения степени охвоенности и облиствения побегов.

Исходя из положения о повышенной охвоенности побегов как отражения компенсаторной способности растений в неблагоприятных абиотических условиях, в настоящем исследовании нами поставлена цель подтвердить или опровергнуть гипотезу компенсации факторов и на примере сосны обыкновенной показать, что увеличение охвоенности побегов может быть связано со снижением длительности вегетационного периода и суммы эффективных температур, распределенной на территории Северной Евразии (Tuhkanen, 1984). Известно, что в широтном градиенте уровень ФАР и сумма эффективных температур взаимосвязаны, но выражаются в разных единицах измерения (Алексеев, 1975; Будыко, 1977; Тооминг, 1977). В таком случае увеличение охвоенности побегов и соответствующее повышение коэффициента поглощения ФАР по мере снижения сумм эффективных температур (или уровня ФАР) в широтном градиенте могло бы служить еще одним подтверждением проявления компенсаторной способности деревьев в неблагоприятных условиях роста.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В нашем анализе в основе понятия «охвоенный побег» лежит наличие хвои (листвы) по всей его оси и боковых ответвлений. По фактическим значениям процентной доли массы хвои и листвы в массе охвоенных и облиственных побегов в свежесрубленном состоянии была сформирована база данных для основных лесобразующих видов и родов Евразии (Usoltsev, 2020). Наиболее широко в ней были представлены материалы для сосны обыкновенной. Для осуществления нашей цели исследования из упомянутой базы данных (Usoltsev, 2020) взяты показатели охвоенности побегов сосны в числе 490 определений, полученных на пробных площадях и распределенных на территории от Архангельска до Крыма. По имеющимся координатам положение пробных площадей нанесено на карту-схему суммы эффективных температур (рис. 2).

Исходные данные, включенные в регрессионный анализ, изменяются в диапазонах: возраст деревьев (*A*) – от 9 до 160 лет, диаметр ствола на высоте груди (*D*) – от 2 до 52 см, сумма эффективных температур выше 5 °С, среднемесячная за вегетационный период (*ET*), – от 20 до 80 °С,



**Рис. 2.** Распределение исходных данных о доле хвои в массе побегов сосны на карте-схеме суммы эффективных температур выше 5 °С на территории России, среднемесячной за вегетационный период (Tuhkanen, 1984).

Цифры на изоплетах обозначают сумму эффективных температур.

доля хвои в массе охвоенных побегов в свежесрубленном состоянии ( $PL$ ) – от 46 до 87 %.

Плотность охвоения побегов увеличивается по мере возрастного снижения скорости роста деревьев в высоту: если в молодом возрасте охвоенность побегов относительно низка и соответствует состоянию, показанному на рис. 1, а, то у перестойных деревьев вследствие снижения и последующего прекращения годичного прироста побегов, их охвоенность соответствует состоянию, показанному на рис. 1, б. Как уже было упомянуто, охвоенность побегов при одном и том же возрасте обычно возрастает пропорционально степени угнетения дерева или обратно пропорционально диаметру ствола. С учетом сказанного, в структуру регрессионной модели, объясняющей изменчивость охвоенности побегов, включены в качестве независимых переменных возраст дерева, диаметр его ствола и сумма эффективных температур.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате регрессионного анализа получена зависимость

$$\ln(PL) = 4.6160 + 0.0940 \ln A + 0.4500 \ln D - 0.1132(\ln D)^2 - 0.2623 \ln(ET);$$

$$\text{adj}R^2 = 0.401; SE = 0.087, \quad (1)$$

где  $\text{adj}R^2$  – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных;  $SE$  – стандартная ошибка модели. Свободный член модели скорректирован на логарифмическое преобразование. Все регрессионные коэффициенты при численных переменных модели (1) достоверны на уровне  $p < 0.001$ . Модель в целом объясняет 40 % изменчивости охвоенности побегов, а остальные 60 % приходятся на неучтенное влияние рельефа, эдафических условий, осадков и пр. и составляют «информационный шум». В объясненной изменчивости модели удельный вес влияния факторов (Здоровье..., 2021), в данном случае, морфоструктуры деревьев и суммы эффективных температур, составил соответственно 72 и 28 %.

По построенной диаграмме распределения остатков модели (1) можно судить о равномерности их распределения и об отсутствии корреляций (рис. 3).

Как уже упоминалось, феномен компенсации действующих на тот или иной процесс факторов и соответствующие поведенческие реакции рас-

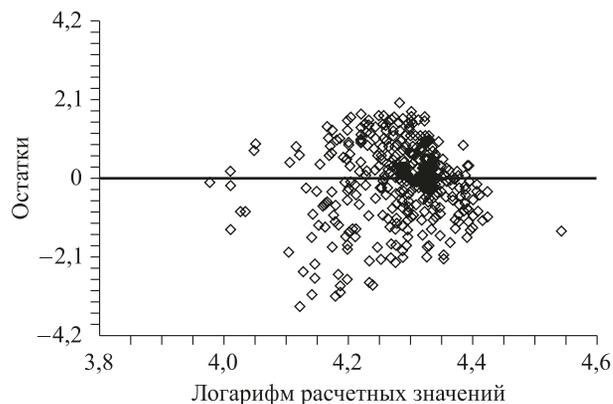


Рис. 3. Распределение остатков модели (1).

тений обусловлены внутренней физиологической регуляцией, и при одном и том же внешнем эффекте внутренние причины экологических явлений могут быть различными.

В частности, в основе эффекта уплотнения хвои на побегах в градиенте снижения суммы эффективных температур могут лежать некоторые физиологически обусловленные процессы.

Но мы не знаем, эти же или иные внутренние процессы обуславливают повышенную охвоенность побегов в градиентах промышленных загрязнений. Поскольку оба дерева, показанные на рис. 1, произрастают в черте города, повышенная охвоенность правого дерева по отношению к левому не может быть вызвана загрязнением воздушной среды. Скорее всего, правое дерево находится в состоянии стресса, обусловленного или изменившимися при его пересадке эдафическими условиями, или спецификой и последствиями пересадки крупномерного посадочного материала, но внутренняя физиологическая обусловленность подобной перестройки морфоструктуры его побегов и в этом случае неизвестна. Тем более неизвестна тройственная физиологически обусловленная причина названной перестройки побегов согласно нашей модели – под влиянием изменения возраста деревьев, центотического положения дерева и сокращения вегетационного сезона или снижения суммы эффективных температур. Все эти вопросы требуют специального изучения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе авторской базы экспериментальных данных о доле хвои в массе охвоенных побегов сосны обыкновенной в ареале от Архангельска до Крыма выполнено моделирование изменения степени их охвоения в зависимости

от морфологии деревьев (возраст и диаметр ствола) и от суммы эффективных температур в широтном градиенте. Модель объясняет 40 % изменчивости доли хвои в массе побегов, и все ее регрессионные коэффициенты значимы на уровне  $p < 0.001$ . Установлена обратно пропорциональная зависимость охвоенности побегов от суммы эффективных температур.

В итоге получила подтверждение гипотеза компенсации (замещения) действия одного фактора воздействием другого – снижение суммы эффективных температур (и соответствующего уровня ФАР) компенсируется при одной и той же морфологии деревьев увеличением коэффициента поглощения ФАР вследствие повышенной охвоенности побегов. Компенсационный эффект на примерах охвоенных побегов проявляется в градиентах различных стрессовых состояний деревьев, обусловленных изменением их морфоструктуры и различными факторами внешней среды: ухудшением температурного режима, повышением атмосферного загрязнения, ухудшением эдафических условий и др. Однако внутренняя физиологическая обусловленность подобной перестройки морфоструктуры побегов в подобных случаях неизвестна, и эта проблема нуждается в специальном исследовании.

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

*Автор выражает благодарность В. А. Усольцеву, В. П. Часовских и Е. В. Кох за содействие в подготовке рукописи статьи.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. А. Световой режим леса. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1975. 227 с.
- Алехин В. В., Дохман Г. И., Еленевский Р. А., Кац Н. Я., Кожевников А. В., Уранов А. А. Основные понятия и основные единицы в фитоценологии // Сов. бот. 1935. № 5. С. 21–34.
- Будыко М. И. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 328 с.
- Дадыкин В. П. Особенности поведения растений на холодных почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 279 с.
- Зарубина И. А. Оценка состояния культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения (Усть-Илимский район Иркутской области): автореф. дис... канд. с.-х. наук. 06.03.01. Красноярск: СибГТУ, 2011. 17 с.
- Зверев В. Е. Влияние промышленного загрязнения на экологию березы Черепанова (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* (Orlova) Hämet-Ahti) на Кольском полуострове: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Екатеринбург: Ин-т экол. раст. и животн. УрО РАН, 2012. 19 с.
- Здоровье населения и здоровье среды: *pro et contra* / под ред. Г. С. Розенберга, Р. С. Кузнецовой, Н. В. Костиной, Н. В. Лазаревой. Тольятти: Анна, 2021. 374 с.
- Лиена И. Я. Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 170 с.
- Молчанов А. Г. Баланс CO<sub>2</sub> в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах. Тула: Гриф и Ко, 2007. 284 с.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
- Прыгов Е. В., Уродкова О. Н., Феклистов П. А. Параметры ассимиляционного аппарата в разных типах сосняков // Экол. пробл. Севера: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3. Архангельск, 2000. С. 25–29.
- Розенберг Г. С., Краснощеков Г. П. Экология «в законе» (теоретические конструкции современной экологии в цитатах и афоризмах). 2-е изд. Самара; Тольятти: Ин-т экол. Волж. бас. РАН, 2016. 468 с.
- Розенберг Г. С., Рянский Ф. Н., Лазарева Н. В., Саконнов С. В., Симонов Ю. В., Хасяев Г. Р. Общая и прикладная экология: Учеб. пособ. Самара; Тольятти: Самар. гос. экон. ун-т, 2016. 452 с.
- Смирнов В. В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах Европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с.
- Тарханов С. Н. Состояние лесных экосистем в условиях атмосферного загрязнения на Европейском Севере: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08. Сыктывкар: Ин-т биол. Коми науч. центра УрО РАН, 2011. 38 с.
- Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.
- Усольцев В. А. Фитомасса крон спелых березово-осиновых насаждений в Северном Казахстане // Лесоведение. 1974. № 2. С. 86–88.
- Яблоков А. С. Культура лиственницы и уход за насаждениями. М.: Гослестехиздат, 1934. 128 с.
- Ярмишко В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 1997. 210 с.
- Piemeisel R. L. Natural replacement of weedhosts of the best leafhopper as affected by rodents. Washington DC, USDA Circ. 739, 1945. 48 p.
- Piemeisel R. L. Replacement control: changes in vegetation in relation to control of pests and diseases // Bot. Rev. 1954. V. 20. P. 1–32.
- Rübel E. The replaceability of ecological factors and the law of the minimum // Ecology. 1935. V. 16. N. 3. P. 336–341.
- Schubert R. Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Stuttgart: Veb Gustav Fischer Verlag, 1985. 327 p.
- Tuhkanen S. A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions // Acta Bot. Fenn. 1984. V. 127. P. 1–50.
- Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: CD-monograph. Yekaterinburg: Ural St. For. Engineer. Univ., Bot. Garden Ural Br. Rus. Acad. Sci., 2020. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>
- Usoltsev V., Zukow W., Tsepordey I. The needle percentage in the leafy shoot biomass of Scots pine in climate gradients of Eurasia // J. Educat., Health and Sport. 2022. V. 12. Iss. 5. P. 416–428.

## AN INCREASE OF THE FOLIAGE SHARE IN SHOOT PHYTOMASS ALONG THE LATITUDINAL GRADIENT AS A COMPENSATORY REACTION OF SCOTS PINE TO A DECREASE IN THE SUM OF EFFECTIVE TEMPERATURES

I. S. Tsepordey

*Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Ural Branch  
8 Marta str., 202a, Yekaterinburg, 620144 Russian Federation*

---

E-mail: ivan.tsepordey@yandex.ru

Behavioral reactions that weaken the limiting influence of abiotic factors play an important role in achieving compliance of plant functioning with the environment. One of such adaptive reactions is the compensation (substitution) of the action of one factor by the influence of another. It is known that with the deterioration of growing conditions, the proportion of the assimilation apparatus in the total phytomass increases, thereby compensating for its reduced activity in these conditions. In general, an increase in the density of needles on shoots increases the absorption coefficient of photosynthetically active radiation (PhAR) and reflects an increased compensatory ability in unfavorable abiotic conditions. The purpose of our study was to confirm or refute the hypothesis of factor compensation by the example of changes in the share of needles in shoots of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the gradient of the sum of effective temperatures geographically distributed in Northern Eurasia. Based on the author's database, which includes 490 definitions of the percentage of needles in the mass of shoots, a regression model of the dependence of needle percentage upon the age, stem diameter and the sum of effective temperatures is constructed, explaining 40 % of the variability of the desired indicator. An inversely proportional dependence of the percentage of needles in shoot phytomass on the sum of effective temperatures has been established. Thus, the hypothesis of compensation of the reduced sum of effective temperatures (and the corresponding PhAR) by an increase in the percentage of needles and the corresponding absorption coefficient of PhAR is confirmed.

**Keywords:** *Pinus sylvestris* L., proportion of needles in the mass of shoots, sum of effective temperatures, compensatory reaction, regression model.

**How to cite:** Tsepordey I. S. An increase of the foliage share in shoot phytomass along the latitudinal gradient as a compensatory reaction of Scots pine to a decrease in the sum of effective temperatures // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 68–73 (in Russian with English abstract and references).

УДК 574.42

## ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА ВЫРУБКАХ В СЕРЕБРЯНОБОРСКОМ ОПЫТНОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ

Ю. Б. Глазунов<sup>1</sup>, Г. А. Полякова<sup>1</sup>, С. А. Коротков<sup>1,2</sup>, Д. В. Лежнев<sup>1</sup><sup>1</sup> Институт лесоведения РАН

143030, с. Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл., ул. Советская, 21

<sup>2</sup> Мытищинский филиал Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана

141005, г. Мытищи, ул. 1-ая Институтская

E-mail: yugla@inbox.ru, park-galina@mail.ru, skorotkov-71@mail.ru, lezhnev.daniil@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.10.2023 г.

Характер восстановительных сукцессий лесных насаждений после катастрофических нарушений в значительной степени определяется их начальной стадией. Исследовано естественное возобновление древесных и кустарниковых пород с учетом влияния на этот процесс травянистой растительности на двух вырубках на месте ветровала 2017 г. в ближнем Подмоскowie. Тип вырубок – вейниково-разнотравный. Почвообразующие породы – супеси и легкие суглинки. Учет естественного возобновления древесных и кустарниковых пород и живого напочвенного покрова проводился на круговых пробных площадках площадью 10 м<sup>2</sup>, расположенных на различном удалении от опушек. Было обнаружено 102 вида сосудистых растений в живом напочвенном покрове. Вырубки различались по видовому составу травянистой растительности. Индекс сходства Жаккара составил 37,3 %. Данное различие обусловлено наличием редко встречающихся видов, наиболее представленные виды отмечены на обеих вырубках: на вырубке 1 – 17 видов древесных и кустарниковых пород, а на вырубке 2 – 13. На обеих вырубках доминировали сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth), б. пушистая (*B. pubescens* Ehrh.) и осина (*Populus tremula* L.). Успешное возобновление сосны отмечено на расстоянии не более 50 м от стены леса. Мелколиственные породы встречались по всей площади обеих вырубок. Количество естественного возобновления сосны превышало количество берез и осины, вместе с тем, сосна обыкновенная сильно уступала этим породам по высоте. Среди травянистых растений возобновлению сосны обыкновенной в наибольшей степени препятствовал вейник тростниковидный (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.), а среди лиственных пород – осина. Для успешного формирования сосновых насаждений рекомендуется проводить рубки ухода за лесом.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, основные лесообразующие породы, вырубка, подрост, подлесок, живой напочвенный покров.

DOI: 10.15372/SJFS20240209

### ВВЕДЕНИЕ

Возобновление на вырубках коренных лесообразующих пород – важная проблема экологии леса (Мелехов, 1962; Маслаков, Колесников, 1968; Санников, 1968; Санников, Санникова, 1985; Обыденников, Кожухов, 2005; Пугачевский, Серенкова, 2015; Ammer et al., 2018; Saurasunet et al., 2018; Лежнев, 2022a; Varaksin et al., 2021; Лежнев и др., 2022; Šipec et al., 2023; Niu et al., 2023).

После ветровалов, пожаров или сплошных рубок резко меняются экологические условия. Изменение светового режима приводит к быстрой смене живого напочвенного покрова. Как правило, происходит разрастание злаков, препятствующее появлению всходов древесных и кустарниковых пород. Характер и степень влияния травянистых растений на естественное возобновление зависят от их видового состава и проективного покрытия. С увеличением давности рубки данные показатели имеют тенден-

цию к изменению (Moreno-Fernández et al., 2015; Aleksandrowicz-Trzcińska et al., 2018; Беляева и др., 2019; Schönfelder et al., 2020; Przybylski et al., 2021; Ara et al., 2022; Jilková et al., 2023). Успех возобновления сплошных лесосек зависит от их размеров и положения (Турский, 1954). На последующее возобновление влияние оказывает наличие стен леса, наибольшее количество самосева отмечается на расстоянии до 35 м от них (Пугачевский, Серенкова, 2015).

В. В. Киселева (2019) для национального парка «Лосинный остров» показала, что обширные вырубки после гибели ели (*Picea A. Dietr.*) возобновляются преимущественно березой (*Betula L.*) с формированием березняка злаково-вейникового, местами – сосной (*Pinus L.*) от сохранных семенников.

На успешность последующего возобновления сосны влияет степень задернения почвы (Санников, Санникова, 1985). При задернении на 80 %, всходы сосны отсутствуют на расстоянии от 40 до 60 м от стены леса. При 100%-м задернении они не встречаются даже у стены леса (Малиновских, Маленко, 2017).

Подрост появляется неравномерно по площади вырубки. По данным некоторых исследователей, непосредственно у стены леса его почти в 2 раза меньше, чем на расстоянии 25 м. При этом на расстоянии 75 м от стены леса подроста оказалось в 10 раз меньше, чем на расстоянии 25 м (Ключников, Парамонов, 2010). Вместе с тем для соснового подроста характерно равномерно-случайное распределение на сплошных вырубках независимо от типа леса (Bilek et al., 2018; Беляева и др., 2019).

Важно понимать, в каком направлении пойдет восстановление леса на месте погибших насаждений после катастрофических явлений (ураганные ветра, вспышки стволовых вредителей) (Киселева, 2019).

Сосняки сложные формируются на относительно богатых почвах, где условия местопроизрастания позволяют успешно развиваться и другим древесным породам. Характер формирования лесных сообществ обусловлен конкурентными взаимоотношениями между древесной растительностью. Изучение старовозрастных сосновых насаждений не дает определить начальные стадии их формирования (Рысин, Савельева, 2008). Необходимо также учитывать, что со временем условия произрастания могут существенно изменяться (климатические, эдафические и антропогенные факторы).

В Московской области безусловный приоритет отдается искусственному лесовосстановлению, число исследований естественных процессов на вырубках и гарях ограничено. Вместе с тем существование сосновых лесов, возраст которых превышает 150 лет, указывает на то, что формирование устойчивых насаждений возможно с использованием естественных процессов. При этом особый интерес представляют начальные стадии сукцессии, от которых в значительной степени зависят дальнейший рост и развитие лесных фитоценозов. Это определяет новизну и актуальность данного исследования.

Целью работы стало изучение естественного возобновления леса на начальной стадии вторичной сукцессии после сплошных санитарных рубок.

Задачи исследования:

- провести учет и оценку количественных характеристик растительных ассоциаций на вырубках;
- проанализировать видовой состав и высоту древесных, кустарниковых и травянистых растений;
- изучить взаимодействия между растениями на начальной стадии сукцессии, протекающие после сплошных санитарных рубок.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены на двух вырубках на месте ветровала 2017 г. Перечеты проводили в 2020 и 2021 гг. Вырубка 1 (55°44'30" с. ш., 37°18'46" в. д.) имеет площадь 7.76 га (рис. 1, а), вырубка 2 (55°44'15" с. ш., 37°19'09" в. д.) – 7.79 га (рис. 1, б). По данным лесоустройства, тип леса на обоих участках был разнотравный (табл. 1). Объекты исследования по лесорастительному районированию относятся к зоне хвойно-широколиственных лесов (Приказ..., 2014).

Вырубки располагаются на надпойменной террасе р. Москва. Почвообразующие породы – супеси и легкие суглинки. Тип условий местопроизрастания на объектах исследования – В<sub>2</sub>.

Характерная группа типов леса для этих условий – сложные боры, которые формируются в узком диапазоне эдафических условий, причем сам процесс образования до настоящего времени вызывает много вопросов (Серебряноборское опытное лесничество..., 2010). Спутниками сосны в этих условиях являются лиственные породы: береза, липа и дуб.



Рис. 1. Вырубки 1 (а) и 2 (б).

Точками отмечены места расположения учетных площадок.

Таблица 1. Характеристика насаждений, произрастающих на объектах исследований до рубки

| Номер вырубki | Квартал / выдел | Площадь, га | Состав  | Тип леса              |
|---------------|-----------------|-------------|---|-----------------------|
| 1             | 44 / 3          | 7.76        | 10С + Б                                       | Сосняк разнотравный   |
|               | 45 / 14         |             | 8С1Б1Ос + Лп, Дн                              |                       |
| 2             | 59 / 2, 3, 7    | 7.79        | 8Б2Ос<br>6Б2Ос2Олс<br>6Б2Ос1Олс1Д             | Березняк разнотравный |
|               | 45 / 22–25      |             | 7С3Б + Ос, Д<br>9С1Б<br>6Б3Ос1Олс + С7<br>С3Б | Сосняк разнотравный   |

Примечание. С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.); Б – береза повислая (*Betula pendula* Roth); Ос – осина (*Populus tremula* L.); Лп – липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.); Д – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.); Дн – дуб черешчатый низкоствольный; Олс – ольха серая (*Alnus incana* (L.) Moench).

Численность подроста на вырубках учитывалась на круговых площадках радиусом 1.78 м (площадью 10 м<sup>2</sup>). Учетные площадки на вырубке 1 располагались на ходовых линиях перпендикулярно длинной стороне вырубке, через 30 м друг от друга. Граничные площадки находились в 10 м от стены леса, другие площадки – в центральной части вырубке. На вырубке 2 были проложены две ходовые линии длиной 270 м в направлении с севера на юг. На каждой из них располагалось по 10 учетных площадок. Граничные площадки также находились на расстоянии 10–20 м от опушек с северной и южной сторон вырубке. В северной части вырубке 2, на участках с наилучшим возобновлением сосны были дополнительно заложены 4 площадки на расстоянии 10–15 м от стены леса. На каждой площадке учитывали количество и высоту подроста всех древесных и кустарниковых пород, а также видовой состав напочвенного покрова, в значительной степени обуславливающий динамику естественного возобновления сосны (Абатуров, Меланхолин, 2004). Определяли общее проек-

тивное покрытие травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов. При характеристике участия видов в фитоценозе использовали шкалу обилия видов J. Braun-Blanquet (1964).

Учитывали жизнеспособный подрост. При составлении характеристики подроста применяли коэффициенты пересчета мелкого (0.5) и среднего (0.8) подроста в крупный (1.0) (Общесоюзные нормативы..., 1992; Лежнев, 2022б; Korotkov et al., 2023).

Расчет средних значений, стандартных ошибок, а также оценка достоверности различий высот по породам выполнены в программе Microsoft Excel по *t*-критерию Стьюдента при  $p < 0.95$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Виды живого напочвенного покрова, которые встречаются на нескольких учетных площадках и имеют проективное покрытие не менее 5 %, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные виды живого напочвенного покрова на вырубках в 2021 г.

| Вид   | Высота, см<br>(сред./макс.) | Вырубка 1     |                                       | Вырубка 2     |                                       |
|---|-----------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|
|   |                             | Встречаемость | Проективное покрытие<br>(сред./макс.) | Встречаемость | Проективное покрытие<br>(сред./макс.) |
|   |                             | %             |                                       |               |                                       |
| Вейник тростниковидный<br>( <i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth) | 100 / 150                   | 36            | 30 / 50                               | 58            | 25 / 50                               |
| Полевица тонкая ( <i>Agrostis tenuis</i> Sibth.)                        | 45 / 70                     | 18            | 25 / 40                               | 8             | 30 / 50                               |
| Иван-чай узколистный<br>( <i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.) | 115 / 180                   | 23            | 35 / 50                               | 13            | 10 / 10                               |
| Орляк обыкновенный<br>( <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn)           | 75 / 120                    | 9             | 75 / 75                               | 5             | 75 / 75                               |
| Щучка дернистая<br>( <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.)       | 75 / 120                    | 50            | 15 / 25                               | 4             | 10 / 10                               |
| Золотарник канадский<br>( <i>Solidago canadensis</i> L.)                | 175 / 200                   | 9             | 15 / 25                               | 29            | 5 / 5                                 |
| Вероника лекарственная<br>( <i>Veronica officinalis</i> L.)             | 25 / 40                     | 14            | 5 / 10                                | 4             | 5 / 5                                 |
| Ожика волосистая ( <i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)                    | 25 / 30                     | 55            | 15 / 25                               | 25            | 10 / 25                               |
| Бодяк обыкновенный<br>( <i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.)             | 100 / 150                   | 14            | 5 / 5                                 | 4             | 25 / 25                               |
| Земляника обыкновенная ( <i>Fragaria vesca</i> L.)                      | 20 / 30                     | 73            | 25 / 50                               | 4             | 5 / 5                                 |
| Осока пальчатая ( <i>Carex digitata</i> L.)                             | 15 / 20                     | 45            | 15 / 25                               | 8             | 5 / 10                                |
| Ландыш майский ( <i>Convallaria majalis</i> L.)                         | 20 / 25                     | 32            | 5 / 10                                | 13            | 10 / 25                               |
| Сивец луговой ( <i>Succisa pratensis</i> Moench)                        | 90 / 150                    | 9             | 5 / 5                                 | 4             | 5 / 5                                 |
| Зверобой пятнистый<br>( <i>Hypericum maculatum</i> Crantz)              | 50 / 75                     | 9             | 5 / 5                                 | 13            | 5 / 5                                 |
| Полынь обыкновенная ( <i>Artemisia vulgaris</i> L.)                     | 125 / 150                   | 5             | 10 / 10                               | 8             | 10 / 25                               |

Эти виды представлены на обеих вырубках. Вместе с тем общее число видов травянистой растительности значительно больше. При обследовании было отмечено 102 вида травянистых растений, многие из которых встречались только на одной из вырубок. Индекс Жаккара, рассчитанный с учетом всех видов, равен 37.3 %.

На вырубке 1 в 2020 г. в напочвенном покрове доминировали земляника лесная, осока бледноватая (*Carex pallescens* L.), полевица тонкая, в 2021 г. – земляника лесная, вейник тростниковидный, щучка дернистая, ожика волосистая. За год произошло значительное изменение состава и проективного покрытия травянистой растительности.

На вырубке 2 в 2020 г. были представлены земляника лесная, мелколепестник канадский (*Erigeron canadensis* L.), орляк обыкновенный, в 2021 г. доминировали вейник тростниковидный и ожика волосистая.

Проективное покрытие на учетных площадках вырубки 1 находится в диапазоне 30–80 %, а в среднем составляет 60–65 %, на вырубке 2 – от 30 до 90 % на отдельных учетных площадках, а в среднем – 70–75 %.

Травянистые растения на обеих вырубках по эколого-ценотическим группам представлены луговыми и лесолуговыми видами (Уланова и др., 2023). Наиболее часто встречаются вейник тростниковидный, щучка дернистая, ожика волосистая и осока пальчатая. Местами сохранился орляк обыкновенный, образующий значительные по площади куртины, а также ландыш майский. По характеру живого напочвенного покрова обе вырубки относятся к вейниково-разнотравному типу.

Среди травянистых растений возобновлению сосны в наибольшей степени препятствует вейник тростниковидный, который образует сильное задернение. Вейник тростниковидный господствует и определяет условия размещения и существования остальных видов травянистых и древесно-кустарниковых растений в местах доминирования (Мелехов, 1962; Обыденников, Кожухов, 1977).

Характеристика возобновления древесных и кустарниковых пород на объектах исследования представлена в табл. 3.

В 2020 г. на вырубке 1 численность сосны составляла 1432 шт./га, березы – 1150 шт./га, осины – 205 шт./га, в 2021 г. данные породы упрочили свое доминирование, их численность составила соответственно 5914, 3982 и 1427 шт./га.

На вырубке 2 в 2020 г. количество сосны в переводе на крупный составляло 1121 шт./га, березы – 4200 шт./га и осины – 738 шт./га, в 2021 г. соответственно 3575, 3992 и 2350 шт./га (произошло увеличение численности осины).

На вырубке 1 отмечено 17 видов древесных и кустарниковых пород, а на вырубке 2 – 13. На обеих вырубках в возобновлении доминировали сосна обыкновенная, березы повислая и пушистая, а также осина.

В 2021 г. на вырубке 1 общее количество подлесочных пород составляло 4182 шт./га, их средняя высота варьировала от 29.5 до 143.8 см. Наиболее часто встречались ива – 1955 шт./га, рябина – 1500 шт./га и лещина – 227 шт./га, средняя высота данных видов варьировала от 69.5 до 121.8 см, при этом отдельные особи ивы достигали 2.7 м.

На вырубке 2 общее количество подлесочных пород в сумме было равно 4167 шт./га. Наиболее представлены были ива – 3000 шт./га, лещина – 458 шт./га и рябина – 417 шт./га. Средняя их высота варьировала от 108 до 230 см, отдельные особи ивы достигали 5 м.

Пространственное распределение подроста древесных пород по площади вырубок происходит по-разному. На вырубке 1 жизнеспособные экземпляры сосны встречаются на 20 из 22 учетных площадок (встречаемость 90.9 %), обе учетные площадки, на которых отсутствует подрост сосны, располагаются в непосредственной близости к северной стене леса. Таким образом, количество сосны на расстоянии 10 м от стен леса сильно варьировало и в среднем составляло 12.0 тыс. шт./га, на расстоянии 30 и 40 м – 8.5 и 8.3 тыс. шт./га соответственно. Подрост как сосны, так и лиственных пород на вырубке 1 встречается стохастически по всей площади. Наибольшее количество подроста сосны было представлено в непосредственной близости от стены леса, а также на расстоянии 40–50 м от нее. По всей вероятности, относительно равномерная встречаемость сосны в центре вырубки 1 обусловлена обсеменением с обеих стен леса.

На вырубке 2 распределение основных лесобразующих пород подчиняется определенным закономерностям (рис. 2).

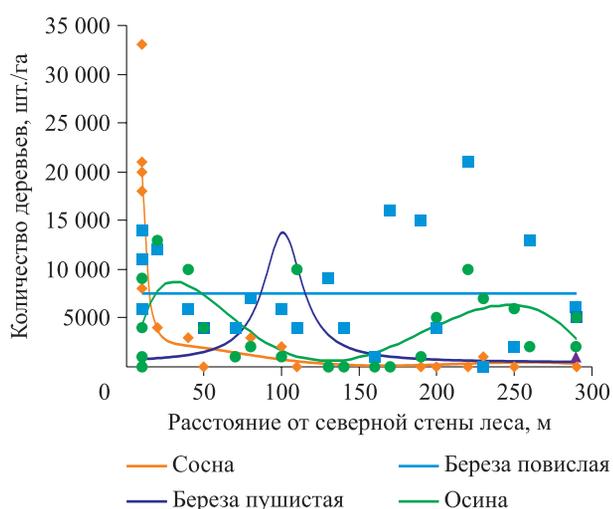
Встречаемость сосны достигает 50.0 % (на 12 из 24 учетных площадках), наиболее высока она в непосредственной близости от северной границы вырубки, примыкающей к сосновому лесу. Здесь количество деревьев составляет от 8.0 до 33.0 тыс. шт./га и в среднем 20.0 тыс. шт./га. Сосна встречается на всех учет-

Таблица 3. Лесовозобновление на объектах исследования в 2021 г.

| Вид   | Средняя высота, см | Количество подлеска и подроста, шт./га |            |         |       |                              |
|---|--------------------|--|------------|---------|-------|------------------------------|
|   |                    | различной высоты                       |            |         | общее | с учетом перевода на крупный |
|   |                    | < 0.5 м                                | 0.51–1.5 м | > 1.5 м |       |                              |
| Вырубка 1   |                    |  |            |         |       |                              |
| Сосна обыкновенная ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)                              | 33.1 ± 1.3         | 8773                                   | 1909       | –       | 10682 | 5914                         |
| Береза повислая ( <i>Betula pendula</i> Roth)                                 | 91.7 ± 4.5         | 682                                    | 3000       | 500     | 4182  | 3241                         |
| Б. пушистая ( <i>B. pubescens</i> Ehrh.)                                      | 43.7 ± 5.7         | 1045                                   | 273        | –       | 1318  | 741                          |
| Осина ( <i>Populus tremula</i> L.)  | 137.8 ± 8.0        | –                                      | 1045       | 591     | 1636  | 1427                         |
| Липа мелколистная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)                               | 68.7 ± 8.4         | 45                                     | 227        | –       | 273   | 205                          |
| Дуб черешчатый ( <i>Quercus robur</i> L.)                                     | 152.3 ± 28.0       | –                                      | 91         | 45      | 136   | 118                          |
| Вяз гладкий ( <i>Ulmus laevis</i> Pall.)                                      | 101.0 ± 49.5       | 45                                     | 91         | –       | 136   | 95                           |
| Клен остролистный ( <i>Acer platanoides</i> L.)                               | 137.0 ± 12.0       | –                                      | 91         | –       | 91    | 73                           |
| Рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.)                             | 69.5 ± 5.0         | 500                                    | 1000       | –       | 1500  | –                            |
| Ива ( <i>Salix</i> sp.)   | 121.8 ± 8.4        | 45                                     | 909        | 227     | 1182  | –                            |
| И. козья ( <i>S. caprea</i> L.)   | 120.1 ± 12.4       | 45                                     | 500        | 318     | 863   | –                            |
| Лещина обыкновенная ( <i>Corylus avellana</i> (L.) H. Karst.)                 | 84.8 ± 30.6        | 91                                     | 91         | 45      | 227   | –                            |
| Ирга овальная ( <i>Amelanchier ovalis</i> Medik.)                             | 143.8 ± 27.5       | –                                      | 91         | 91      | 182   | –                            |
| Бузина красная ( <i>Sambucus racemosa</i> L.)                                 | 133.0 ± 17.0       | –                                      | 91         | –       | 91    | –                            |
| Бересклет бородавчатый ( <i>Euonymus verrucosus</i> Scop.)                    | 29.5 ± 3.5         | 91                                     | –          | –       | 91    | –                            |
| Черемуха обыкновенная ( <i>Prunus padus</i> L. syn. <i>Padus racemosa</i> L.) | 36.5 ± 7.5         | 91                                     | –          | –       | 91    | –                            |
| Крушина ломкая ( <i>Frangula alnus</i> Mill. syn. <i>Rhamnus frangula</i> L.) | 41.0 ± 2.0         | 45                                     | –          | –       | 45    | –                            |
| Вырубка 2   |                    |  |            |         |       |                              |
| Сосна обыкновенная  | 78.0 ± 2.8         | 1083                                   | 3792       | –       | 4875  | 3575                         |
| Береза повислая   | 180.1 ± 7.6        | –                                      | 1500       | 2167    | 3667  | 3367                         |
| Б. пушистая   | 98.5 ± 9.5         | 83                                     | 625        | 83      | 792   | 625                          |
| Осина   | 175.3 ± 7.9        | –                                      | 958        | 1583    | 2542  | 2350                         |
| Клен остролистный   | 110.8 ± 19.4       | 42                                     | 167        | 42      | 250   | 196                          |
| Ольха серая   | 210.0 ± 13.2       | –                                      | –          | 42      | 42    | 42                           |
| Ива козья   | 147.9 ± 6.2        | 42                                     | 1375       | 1208    | 2625  | –                            |
| Лещина обыкновенная   | 218.4 ± 28.7       | –                                      | 83         | 375     | 458   | –                            |
| Рябина обыкновенная   | 160.4 ± 17.3       | –                                      | 125        | 292     | 417   | –                            |
| Ива   | 202.4 ± 41.8       | –                                      | 167        | 208     | 375   | –                            |
| Бузина красная  | 149.8 ± 15.9       | –                                      | 83         | 83      | 167   | –                            |
| Крушина ломкая  | 108.0 ± 27.0       | –                                      | 83         | –       | 83    | –                            |
| Черемуха обыкновенная   | 230.0 ± 14.7       | –                                      | –          | 42      | 42    | –                            |

ных площадках, расположенных на расстоянии до 50 м от северной границы вырубки. У южной границы вырубки, примыкающей к березняку с участием других пород, сосна встречается эпизодически в незначительном количестве. Как правило, в центре вырубки на учетных площадках возобновления сосны не наблюдается, а у противоположной стены, где эта порода является лишь примесью, подрост ее встречается единично.

Возобновление березы повислой распределяется по площади вырубки 2 равномерно. Подрост березы пушистой встречается спорадически. При этом наблюдается увеличение количества возобновления этого вида на расстоянии около 100 м от стены леса, что может объясняться случайными факторами. Осина успешно возобновляется на расстоянии до 100 м от стен леса, тогда как в центре вырубки она практически отсутствует (рис. 2). Это может объясняться



**Рис. 2.** Распределение количества деревьев основных лесообразующих пород в зависимости от расстояния от северной стены леса на вырубке 2 в 2021 г.

как особенностями возобновления, так и межвидовой конкуренцией.

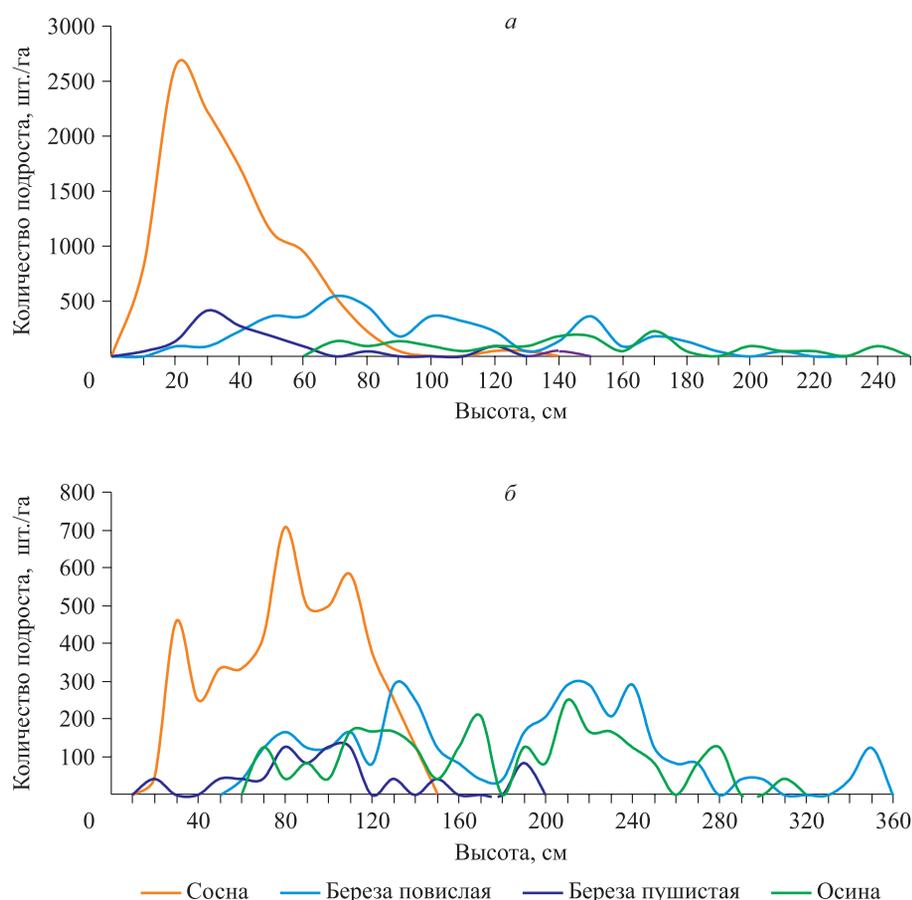
Подрост на вырубках 1 и 2 различается по высоте. Средняя высота сосны обыкновенной на вырубке 1 равна 33.1 см, максимальная – 124 см,

на вырубке 2 – соответственно 78 и 140 см. При этом общее количество подроста сосны на вырубке 1 составляло 10 682 шт./га, а с учетом перевода на крупный – 5914 шт./га, на вырубке 2 эти показатели были равны соответственно 4875 и 3575 шт./га. Количество сосны на обеих вырубках превосходит количество подлесочных пород, однако последние имеют существенно большую высоту (табл. 2, рис. 2, 3).

Средняя высота подроста мелколиственных пород на вырубке 1 в 2021 г. у березы повислой достигала 91.7 см, у б. пушистой – 43.7 см, у осины – 137.8 см, минимальная у березы повислой – 15 см, а максимальная – 204 см, у б. пушистой – 8 и 134 см, у осины – 63 и 239 см соответственно.

На вырубке 2 в 2021 г. средняя высота березы повислой равнялась 180.1 см, б. пушистой – 98.5 см, а осины – 175.3 см; минимальная – соответственно 57, 20 и 65 см, а максимальная – 350, 188 и 305 см.

Различия высот всех древесных и кустарниковых видов на разных вырубках достоверны по *t*-критерию Стьюдента при  $p < 0.95$ . Наибольшая



**Рис. 3.** Распределение подроста основных лесообразующих пород по высоте на вырубке 1 (а) и 2 (б).

разница высот наблюдается у подростка сосны ( $t_{расч} = 16.84$ ;  $t_{крит} = 1.65$ ), наименьшая – у различных видов ивы ( $t_{расч} = 1.89$ ;  $t_{крит} = 1.83$ ). Обе вырубки были расчищены от упавших деревьев в 2018 г., таким образом, их зарастание началось одновременно.

Распределение высот основных лесобразующих пород на объектах исследования показывает доминирование березы и осины, которые, наряду с подлесочными породами, значительно опережают в росте и угнетают сосну. При отсутствии лесохозяйственных мероприятий это в дальнейшем, вероятно, приведет к элиминации большей части экземпляров сосны.

Значительно большее количество подростка сосны на вырубке 1 и ее меньшая высота по сравнению с вырубкой 2 отчасти могут быть обусловлены формой вырубков, микрорельефом, экспозицией и гидрологическим режимом. Одной из возможных причин указанных различий могут быть лучшие условия возобновления сосны на вырубке 1. Появление более молодых особей сосны приводит к снижению средней высоты.

Весь ход сингенетических смен сообществ на вырубке осуществляется в процессе сильной конкуренции между растениями из-за факторов роста и сопровождается значительной гибелью особей и отмиранием целых видовых популяций (Карпов, 1969).

Значительное влияние живого напочвенного покрова на естественное возобновление основных лесобразующих пород отмечается многими авторами. Особенно сильное влияние оказывает вейник, сомкнутый травяной покров которого делает невозможным попадание семян на почву и их прорастание (Воронова, 1957; Мелехов, 1962; Обыденников, Кожухов, 1977; Чижов, 2003; Уланова и др., 2008; Грязькин и др., 2016).

Тем не менее на объектах исследования происходит возобновление сосны. Конкурентные воздействия древесной и травянистой растительности не приводят к абсолютному доминированию последней. Различный характер распределения подростка основных лесобразующих пород по площади вырубков обусловлен эколого-биологическими особенностями пород, в частности, характером распространения семян. Сосна успешно возобновляется на расстоянии до 50 м от стены леса. Семена мелколиственных пород, прежде всего березы, способны преодолевать гораздо большие расстояния.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стадия возобновления является во многом определяющей для дальнейшего формирования древостоя. Естественное возобновление после катастрофических нарушений в Московской области происходит редко, так как предпочтение отдается созданию лесных культур. Вместе с тем в Серебряноборском лесничестве на значительной территории произрастают разновозрастные сосновые леса естественного происхождения, средний возраст которых превышает 150 лет.

Проведенные исследования показывают, что в типе лесорастительных условий  $B_2$  происходит успешное возобновление сосны на начальных стадиях вторичных сукцессий после проведения сплошных санитарных рубок.

Состав подростка на 4-й год после проведения сплошной санитарной рубки на вырубке 1 – 51С35Б12Ос2Лп + Д, В, Кло; на вырубке 2 – 40Б35С23Ос2Кло + Олс. Однако различия в скорости роста сосны и мелколиственных пород указывают на то что, в последующем сосна с высокой вероятностью уступит свое место березе и осине.

Для успешного формирования сосновых насаждений необходимо проводить рубки ухода за лесом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров А. В., Меланхолин П. Н. Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмосковье. Тула: Гриф и Ко., 2004. 333 с.
- Беляева Н. В., Данилов Д. А., Казы И. А. Особенности естественного возобновления ели европейской на постагрогенных землях // Акт. пробл. лесн. компл. 2019. № 54. С. 6–10.
- Воронова В. С. Влияние смен растительного покрова на естественное лесовозобновление вырубков // Возобновление ели на сплошных концентрированных вырубках Карелии: Тр. Карел. фил. АН СССР. 1957. Вып. 4. С. 110–126.
- Грязькин А. В., Новикова М. А., Новиков Я. А. Особенности естественного возобновления березы на вырубках // ИВУЗ. Лесн. журн. 2016. № 4 (352). С. 81–88.
- Карпов В. Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 335 с.
- Киселева В. В. Динамика типов леса и типов насаждений национального парка «Лусиный остров» // Лесн. вестн. 2019. Т. 23. № 2. С. 20–28.
- Ключников М. В., Парамонов Е. Г. Естественное возобновление сосны на вырубках и гарях в Приобье // Вестн. Алтай. гос. агр. ун-та. 2010. № 4 (66). С. 56–60.
- Лежнев Д. В. Возобновление под пологом сосняков и на вырубках в ближайшем Подмосковье // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы

- Восьмой Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участ., Петрозаводск, 24 мая 2022 г. Петрозаводск: Петрозавод. гос. ун-т, 2022а. С. 95–97.
- Лежнев Д. В. Методики исследований естественного возобновления лесных экосистем // Цифровые технологии в лесной отрасли: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: Воронеж. гос. лесотех. ун-т им. Г. Ф. Морозова, 2022б. С. 130–138.
- Лежнев Д. В., Коротков С. А., Глазунов Ю. Б., Полякова Г. А. Начальная стадия сукцессии в сосняках после сплошных санитарных рубок в Серебряноборском опытном лесничестве // Материалы ежегод. нац. науч.-техн. конф. профес.-препод. сост., аспирантов и студ. Мытищ. филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана по итогам науч.-иссл. работ за 2021 год. Мытищи: Мытищ. филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. С. 23–25.
- Малиновских А. А., Маленко А. А. Влияние живого напочвенного покрова на процесс естественного возобновления сосны обыкновенной после рубок в спелых и перестойных насаждениях в ленточных борах Алтайского края // Вестн. Алтай. гос. агр. ун-та. 2017. № 12 (158). С. 58–64.
- Маслаков Е. Л., Колесников Б. П. Классификация вырубок и естественное возобновление сосновых лесов средне-таежной подзоны равнинного Зауралья // Леса Урала и хоз-во в них. Свердловск, 1968. Вып. 1. С. 246–279.
- Мелехов И. С. Рубки главного пользования. М.: Гослесбумиздат, 1962. 329 с.
- Общесоюзные нормативы для таксации лесов: справочник / В. В. Загребев, В. И. Сухих, А. З. Швиденко, Н. Н. Гусев, А. Г. Мошкалева. М.: Колос, 1992. 494 с.
- Обыденников В. И., Кожухов Н. И. Типы вырубок и возобновление. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 174 с.
- Обыденников В. И., Кожухов Н. И. Естественно-исторические аспекты типологии вырубок // ИВУЗ. Лесн. журн. 2005. № 4. С. 39–48.
- Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». М.: Минприроды России, 2014.
- Пугачевский А. В., Серенкова В. А. Оценка лесовосстановительных процессов на вырубках сосновых фитоценозов Белорусского Полесья // Тр. БГТУ. Сер. 1: Лесн. хоз-во, природопольз. и перераб. возобновл. рес. 2015. № 1 (174). С. 83–86.
- Рысин Л. П., Савельева Л. И. Сосновые леса России. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 288 с.
- Санников С. Н. Типы вырубок, динамика живого напочвенного покрова и его роль в последующем возобновлении сосны в Припышминских борах-зеленомошниках // Леса Урала и хоз-во в них. 1968. № 1. С. 280–301.
- Санников С. Н., Санникова Н. С. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. М.: Наука, 1985. 152 с.
- Серебряноборское опытное лесничество: 65 лет лесного мониторинга / отв. ред. Б. Р. Стриганова, А. А. Сиринов. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. 260 с.
- Турский М. К. Лесоводство. 6-е изд. М.: Сельхозгиз, 1954. 352 с.
- Уланова Н. Г., Белова И. Н., Логофет Д. О. О конкуренции среди популяций с дискретной структурой: матричная модель динамики популяций вейника и березы, растущих совместно // Журн. общ. биол. 2008. Т. 69. № 6. С. 441–457.
- Уланова Н. Г., Жмылёв П. Ю., Елумеева Т. Г., Федосов В. Э. Методы анализа флористического состава и функционального разнообразия растительных сообществ: учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2023. 137 с.
- Чижев Б. Е. Регулирование травяного покрова. М.: ВНИИЛМ, 2003. 174 с.
- Aleksandrowicz-Trzcńska M., Drozdowski S., Studnicki M., Zybura H. Effects of site preparation methods on the establishment and natural-regeneration traits of scots pines (*Pinus sylvestris* L.) in northeastern Poland // Forests. 2018. V. 9. Iss. 11. Article 717. 16 p.
- Ammer C., Fichtner A., Fischer A., Gossner M. M., Meyer P., Seidl R., Thomas F. M., Annighöfer P., Kreyling J., Ohse B., Berger U., Feldmann E., Häberle K.-H., Heer K., Heinrichs S., Huth F., Krämer-Klement K., Mölder A., Müller J., Mund M., Opgenorth L., Schall P., Scherer-Lorenzen M., Seidel D., Vogt J., Wagner S. Key ecological research questions for Central European forests // Basic and Appl. Ecol. 2018. V. 32. P. 3–25.
- Ara M., Barbeito I., Kalén C., Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests // Scand. J. For. Res. 2022. V. 37. Iss. 1. P. 14–22.
- Bílek L., Vacek Z., Vacek S., Bulušek D., Linda R., Král J. Are clearcut borders an effective tool for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration? // For. Systems. 2018. V. 27. Iss. 2. Article 12408.
- Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3<sup>rd</sup> ed. Springer, Wien; New York, 1964. 865 p.
- Jílková V., Adámek M., Angst G., Tůmová M., Devetter M. Post-fire forest floor succession in a Central European temperate forest depends on organic matter input from recovering vegetation rather than on pyrogenic carbon input from fire // Sci. Total Environ. 2023. V. 861. Article 160659.
- Korotkov S. A., Stohozenko L. V., Lezhnev D. V., Eregina S. V. Pine plants formation in the North-Eastern Moscow region // AIP Conf. Proc. AIP Publ. 2023. V. 3011. Iss. 1. Article 020031.
- Moreno-Fernández D., Cañellas I., Barbeito I., Sánchez-González M., Ledo A. Alternative approaches to assessing the natural regeneration of Scots pine in a Mediterranean forest // Ann. For. Sci. 2015. V. 72. Iss. 5. P. 569–583.
- Niu H., Rehling F., Chen Z., Yue X., Zhao H., Wang X., Zhang H., Schabo D. G., Farwig N. Regeneration of urban forests as influenced by fragmentation, seed dispersal mode and the legacy effect of reforestation interventions // Landscape and Urban Plann. 2023. V. 233. Article 104712. 10 p.
- Przybylski P., Konatowska M., Jastrzębowski S., Tereba A., Mohytych V., Tyburski L., Rutkowski P. The possibility of regenerating a pine stand through natural regeneration // Forests. 2021. V. 12. Iss. 8. Article 1055. 16 p.
- Saurasunet M., Mathisen K. M., Skarpe C. Effects of increased soil scarification intensity on natural regeneration of Scots pine *Pinus sylvestris* L. and birch *Betula spp.* L. // Forests. 2018. V. 9. Iss. 5. Article 262. 19 p.
- Schönfelder O., Zeidler A., Borůvka V., Bílek L., Vítámvás J. Effect of shelterwood and clear-cutting regeneration method on wood density of Scots Pine // Forests. 2020. V. 11. Iss. 8. Article 868. 17 p.

Šipek M., Ravnjak T., Šajna N. Understorey species distinguish late successional and ancient forests after decades of minimum human intervention: A case study from Slovenia // For. Ecosyst. 2023. V. 10. Article 100096. 10 p.

Varaksin G. S., Vais A. A., Sokolov V. A., Vtyurina O. P., Yelizentsev E. A., Repyakh K. K. Availability of forest plots for reforestation activities // IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci. V. 839. Biodiversity and Ecosystem Stability. IOP Publ. 2021. Article 052018. 6 p.

## NATURAL REFORESTATION IN CLEARCUT AREA IN SEREBRYANOBORSKY EXPERIMENTAL FORESTRY

Yu. B. Glazunov<sup>1</sup>, G. A. Polyakova<sup>1</sup>, S. A. Korotkov<sup>1,2</sup>, D. V. Lezhnev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences  
Sovetskaya str., 21, Uspenskoe village, Odintsovskiy District, Moscow Oblast, 143030  
Russian Federation*

<sup>2</sup> *Mytishchinskiy Branch Bauman Moscow State Technical University  
1<sup>st</sup> Institutskaya str., 1, Mytishchi, 141005 Russian Federation*

---

E-mail: yugla@inbox.ru, park-galina@mail.ru, skorotkov-71@mail.ru, lezhnev.daniil@yandex.ru

The character of restorative forest successions after catastrophic disturbances is largely determined by their initial stage. The natural regeneration of tree and shrub species has been investigated, taking into account the influence of herbaceous vegetation on this process in two clear cut area at the site of the 2017 windfall in near Moscow Region. The type of clear cut area is mixed herbs with predominance of reed grass. The soil-forming rocks are sandy loam and light loam. Accounting for the natural renewal of tree and shrub species and soil vegetation cover was carried out on circular test plots with an area of 10 m<sup>2</sup>, located at different distances from the edges. 102 species of herbs were found. Clearings differ in the species composition of herbaceous vegetation. The Jaccard similarity index was 37.3 %. This difference is due to the presence of rare species, the most represented species are found in both clear cut area. In clear cut area No. 1, 17 species of trees and shrubs were noted, and in clear cut area No. 2, 13 species. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver (*Betula pendula* Roth) and moor (*Betula pubescens* Ehrh.) birch, and aspen (*Populus tremula* L.) dominated in both clearings. Successful regeneration of pine trees was noted at a distance of no more than 50 m from the forest wall. Small-leaved species are found throughout in the clear cut area. The amount of natural reforestation of pine significantly exceeds the amount of birch and aspen, at the same time, pine is much inferior to these species in height. Among herbaceous plants, the renewal of pine is most hindered by the reed grass (*Calamagrostis arundinacea* (L) Roth.), and among deciduous species – aspen. For the successful formation of pine stands, it is recommended to carry out thinning.

**Keywords:** Scots pine, main forest-forming species, clearcut area, undergrowth, understory, soil vegetation cover.

**How to cite:** Glazunov Yu. B., Polyakova G. A., Korotkov S. A., Lezhnev D. V. Natural reforestation in clearcut area in Serebryanoborsky experimental forestry // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 74–83 (in Russian with English abstract and references).

УДК 58.006:58.084:631.53:581.543:574:630.181.28(470.23-25)

## ВЛИЯНИЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ СПОСОБНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Г. А. Фирсов, К. Г. Ткаченко, А. В. Волчанская, И. В. Фадеева

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН  
197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2

E-mail: gennady\_firsov@mail.ru, kigatka@gmail.com, sandalet@mail.ru, butvik@mail.ru

Поступила в редакцию 11.09.2023 г.

В начале XXI в. в Санкт-Петербурге заметно увеличилось число видов деревьев и кустарников, перешедших в репродуктивное состояние. У целого ряда из них впервые за длительный период интродукции было получено семенное потомство. В таких условиях, когда так заметно меняются уровни адаптированности и по-разному проявляются биологические особенности разных видов растений, несомненно, возрастает роль и значение ведения и обработки длительных рядов непрерывных фенологических наблюдений. За период непрерывного фенологического мониторинга (1980–2022 гг.) в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН установлено, что на фоне потепления климата Санкт-Петербурга, начавшегося с конца 1980-х годов, биологическая цикличность, по Н. Е. Булыгину, проявляется в чередовании раннетеплых (1989, 1990, 1992, 1995, 2007, 2008, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020, 2022 гг.) и позднехолодных (1980, 1982, 1985, 1987, 1996, 1998, 2003, 2004, 2006, 2011, 2012, 2013 гг.) лет, что отражается на репродуктивной активности древесных растений и на способности их пережить зимние условия. За 2001–2022 гг. в репродуктивное состояние вступили 238 видов, многие из которых до этого в течение десятилетий находились в вегетативном состоянии. Особенно заметно улучшение в репродуктивной сфере растений после аномально теплой зимы 2006/07 г., оно усилилось в 2015 г. Этот и 2020 г. стали самыми теплым за период инструментальных метеорологических наблюдений. 50.8 % случаев вступления в первое цветение и плодоношение приходится на раннетеплые годы и только 16.4 % случаев – на позднехолодные. При подведении итогов интродукции и оценке перспективности для разведения древесных растений для урбанофлористики необходимо учитывать цикличность климата региона, сезонный ритм развития растений и их ритмоадаптивные связи.

**Ключевые слова:** интродукция растений, фенология, мониторинг, парк-арборетум, Ботанический сад Петра Великого, цикличность климата.

DOI: 10.15372/SJFS20240210

### ВВЕДЕНИЕ

На VIII Дендрологическом конгрессе социалистических стран в Тбилиси Н. Е. Булыгин (1982a) ввел в научную терминологию понятие биоклиматической цикличности (БКЦ) и в дальнейшем развивал это направление науки. Под этим он понимал цикличность реакции древесных растений на короткопериодные колебания климата с учетом возрастной изменчивости самой этой реакции. Интегральным показателем БКЦ разных типов служат даты наступления фенологического периода и температуры воз-

духа смежных теплой и холодной частей года. Н. Е. Булыгин (1982б) выделял три группы лет: раннетеплые, средние, или нормальные, и позднехолодные. Отдельные соседние годы он объединял в циклы. Наиболее отчетливо БКЦ выражается при сопоставлении двух альтернативных биоклиматических циклов – раннетеплых (РТ) и позднехолодных (ПХ), индикаторами которых служат фенодаты начала «пыления» ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench).

Биоклиматическая цикличность – это сложное сочетание климатической и сопряженной с ней дендрофенологической цикличности в

связи с многолетней изменчивостью биологических свойств растений. Именно проявление БКЦ определяет временную изменчивость как разных показателей адаптированности растений, так и оценок результатов интродукции и перспективности интродуцентов для разведения (Булыгин, 1996; Булыгин, Фирсов, 1998). При этом цикличность в последние десятилетия (с конца 1980-х годов) проявляется на фоне потепления климата.

Результаты трехвековых интродукционных испытаний древесных растений под Санкт-Петербургом показали, что ведущим экологическим свойством, определяющим их адаптированность, является зимостойкость, которая оценивается через повреждаемость морозом. Однако показатели зимостойкости у разных авторов-наблюдателей зачастую резко различаются. Один и тот же вид часто характеризовался и как зимостойкий, и как вымерзающий. Причины подобной противоречивости результатов исследований кроются в высокой изменчивости самой зимостойкости растений в результате проявления биоклиматической цикличности (Фадеева и др., 2009; Фирсов и др., 2009). Именно она обуславливает повторяемость погодичных биометеорологических ситуаций разных типов, от благоприятных до критических по влиянию на интродуценты. С зимостойкостью теснейшим образом связана и репродуктивная способность растений (сам факт наличия цветения и плодоношения, возраст вступления в репродуктивное состояние, периодичность плодоношения, обилие плодоношения, качество семян и др.).

В начале 1970-х годов фенологи и климатологи обратили внимание на тенденцию к потеплению климата Санкт-Петербурга (Булыгин, Довгулевич, 1974). Климатическая и фенологическая тенденция обеспечила успешность перезимовки многих термофильных и ранее считавшихся непригодными для культуры в Северо-Западном регионе деревьев и кустарников. Ведь холодные и теплые зимы по-разному влияют на растения интродуцированной, а порой и местной дендрофлоры. Заметное потепление началось с 1989 г., который стал самым теплым (7.6 °С) в истории на тот период времени (Фирсов, 2014; Фирсов, Волчанская, 2021). В XXI в. потепление климата усилилось, особенно после 2007 г. Зима 2006/07 г. была рекордно короткой и продолжалась лишь 41 день, зато осень длилась почти 5 мес (Фирсов и др., 2008). Очень теплым было лето 2010 г., при рекордно высоких температурах июля (24.4 °С). Во втором десяти-

лети XXI в. до конца календарного года зима в отдельные года так и не наступает – отсутствует снежный покров, а некоторые растения продолжают вегетацию. Очевидна тенденция к повышению теплообеспеченности и при сравнении среднегодовой температуры воздуха. Она повысилась на 2.5 °С по отношению к норме климата XX столетия, что можно считать очень значительным потеплением. Год 2015 стал самым теплым за период наблюдений с середины XVIII в. – 7.7 °С (его позже превзошел 2020 г. – 8.3 °С). Заметно повысилась и минимальная температура воздуха (Фирсов, Фадеева, 2020). С потеплением климата в начале XXI в. в Санкт-Петербурге заметно увеличилось число видов деревьев и кустарников, перешедших в репродуктивное состояние (Фирсов, Ткаченко, 2020).

Цель настоящей работы – отметить те виды интродуцированных в Ботанический сад Петра Великого БИН РАН древесных, кустарниковых растений и лиан, для которых в XXI в. впервые отмечено цветение и плодоношение, что является реакцией на отмечаемое потепление климата.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были древесные растения интродуцированной и местной дендрофлоры в Санкт-Петербурге и дендрофеноиндикаторы Календаря природы. Исследование выполнено в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН. Использованы литературные данные по интродукции древесных растений и результаты собственных наблюдений. Ежегодная оценка обмерзания проводится авторами с начала 1980-х годов. Обмерзание растений оценивалось по шкале П. И. Лапина (1967): 1 – отсутствие повреждений, 2 – подмерзание хвои и концов однолетних побегов, <...> 7 – гибель растения от морозов. В работе использованы данные метеостанции «Санкт-Петербург» Северо-Западного межрегионального территориального управления федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Обозначения фенологических фаз даны по Н. Е. Булыгину (1979). Естественная периодизация года приводится также по Н. Е. Булыгину (1982б). Использована обработка данных в компьютерной программе Microsoft Excel. Основанием для отнесения каждого года к тому или иному БКЦ служат статистики ряда распределения фенодат зацветания ольхи серой, исходя из среднемного-

летней даты начала ее пыления с учетом основной ошибки этой фенодаты ( $X \pm m$ ). БКЦ считается ранним при  $x_i \leq X - 3m$ , поздним – в случае  $x_i \geq X + 3m$ , где  $x_i$  – погодичная фенодата начала пыления ольхи, т. е. выделение БКЦ осуществляется в доверительном интервале  $p = 0.99$ . Отсюда при  $X = 2.04 \pm 2.4$  раннетеплые годы будут при  $x_i \leq 02.04 - 7.2 \leq 24.03$  и поздним в случае  $x_i \geq 02.04 + 7.2 \geq 10.04$ . В настоящей статье был обработан ряд зацветания ольхи серой за период 1980–2022 гг.

Обозначения, используемые в статье: БИН РАН – Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, БКЦ – биоклиматическая цикличность, РТ – раннетеплый, ПХ – позднехолодный.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Климатологи и фенологи в конце XX в. стали обращать внимание на тенденцию к потеплению климата Санкт-Петербурга. Климатическая и фенологическая тенденция обеспечила успешность перезимовки многих термофильных и ранее считавшихся не пригодными для культуры в Северо-Западном регионе деревьев и кустарников. У целого ряда видов впервые за длитель-

ный период интродукции было получено семенное потомство: клен японский (*Acer japonicum* Thunb.) (Волчанская и др., 2010), ель Глена (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast.) (Фирсов и др., 2015в), ясень Поярковой (*Fraxinus pojarkoviana* V. Vassil.) (Фирсов и др., 2016а), я. остроплодный (*F. oxycarpa* Willd.) (Фирсов и др., 2016б), айва продолговатая (*Cydonia oblonga* Mill.) (Фирсов и др., 2017б), граб восточный (*Carpinus orientalis* Mill.) (Фирсов, Ткаченко, 2018), клен волосовидный (*Acer capillipes* Maxim.) (Фирсов и др., 2018а), груша зангезурская (*Pyrus zangezura* Maleev) (Ткаченко и др., 2019), кирказон крупнолистный (*Aristolochia macrophylla* Lam.) (Ткаченко и др., 2020). У некоторых видов отмечено первое цветение, например у декеней Фаргеза (*Decaisnea fargesii* Franch.) (Фирсов, 2019а).

В таблице приведен список видов, перешедших в репродуктивное состояние, у которых впервые было отмечено цветение и плодоношение в начале третьего десятилетия XXI в. (в первые два и в начале третьего десятилетия нового века – за 2001–2022 гг.).

При этом следует отметить тот факт, что многие из них до этого десятки лет находились в вегетативном состоянии.

Древесные растения Ботанического сада Петра Великого, достигшие репродуктивного возрастного состояния в 2001–2022 гг.

| № п/п | Вид   | Год              |                                     | Литературный источник                                    | Период биоклиматической цикличности |
|-------|---|------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
|       |   | появления в саду | первого цветения и/или плодоношения |  |                                     |
| 1     | 2   | 3                | 4                                   | 5  | 6                                   |
| 1     | Абелия корейская ( <i>Abelia koreana</i> Nakai)   | ~1995            | 2005 (пл.)                          | Фирсов, Ярмишко, 2021 (растение из экспедиции в 1997 г.) | Средний                             |
| 2     | Айва продолговатая ( <i>Cydonia oblonga</i> Mill.)                                      | 1949             | 2014 (пл.)                          | Фирсов и др., 2017б; Фирсов, Ярмишко, 2021               | Раннетеплый                         |
| 3     | Айлант высочайший ( <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle)                         | 1990             | 2018 (цв.)                          | Фирсов, Ярмишко, 2021                                    | Средний                             |
| 4     | Акантопанакс трёхлистный ( <i>Acanthopanax trifoliatum</i> (L.) Merr.)                  | 1992             | 2008 (цв.)                          | Там же   | Раннетеплый                         |
| 5     | Акебия пятерная ( <i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne.)                                | 2009             | 2015 (цв.)                          | »  | »                                   |
| 6     | Аралия высокая ( <i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem.)                                      | 2010             | 2021 (пл.)                          | »  | Средний                             |
| 7     | Арахна колхидская ( <i>Leptopus colchicus</i> (Fisch. et C. A. Mey. ex Boiss.) Pojark.) | ~2004            | 2009 (пл.)                          | »  | »                                   |
| 8     | Арония сливолистная ( <i>Aronia × prunifolia</i> (Marshall) Rehder)                     | 1999             | 2004 (пл.)                          | »  | Позднехолодный                      |

## Продолжение таблицы

| 1  | 2   | 3     | 4          | 5   | 6               |
|----|---|-------|------------|---|-----------------|
| 9  | Астрагал белостебельный ( <i>Astragalus albicaulis</i> DC.)   | ~2000 | 2005 (пл.) | Ориг. (привезен растением в 2004 г., позже погиб от выпревания)                 | Средний         |
| 10 | Аукуба японская ( <i>Aucuba japonica</i> Thunb.)  | 2008  | 2014 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 11 | Багульник гренландский ( <i>Ledum groenlandicum</i> Oed.)   | 1999  | 2006 (пл.) | Ориг.   | Поздне-холодный |
| 12 | Б. подбел ( <i>L. hypoleucum</i> Kom.)  | 2005  | 2011 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Тот же          |
| 13 | Б. стелющийся ( <i>L. decumbens</i> (Aiton) Lodd. ex Steud.)  | 2001  | 2010 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 14 | Барбарис Вильсона ( <i>Berberis wilsoniae</i> Hemsl.)   | 1996  | 2001 (цв.) | Ориг. (позже вымерз)  | »               |
| 15 | Б. сибирский ( <i>B. sibirica</i> Pall.)  | 1992  | 2002 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 16 | Б. Генри ( <i>B. henryana</i> C. K. Schneid.)   | 1995  | 2002 (пл.) | Там же  | »               |
| 17 | Бархат китайский ( <i>Phellodendron chinense</i> C. K. Schneid.)  | 1990  | 2015 (цв.) | »   | Раннетеплый     |
| 18 | Береза граболистная ( <i>Betula grossa</i> Siebold & Zucc.)   | 2000  | 2009 (пл.) | »   | Средний         |
| 19 | Б. китайская ( <i>B. chinensis</i> Maxim.)  | 2001  | 2012 (пл.) | »   | Поздне-холодный |
| 20 | Б. малорослая ( <i>B. pumila</i> L.)  | 2003  | 2008 (пл.) | »   | Раннетеплый     |
| 21 | Б. Медведева ( <i>Betula medvediewii</i> Regel)   | 1986  | 2015 (пл.) | »<br>(растение из НОС Оградное)   | »               |
| 22 | Б. полезная ( <i>B. utilis</i> D. Don)  | 2001  | 2009 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 23 | Б. чичибуенская ( <i>B. chichibuensis</i> H. Nara)  | 2012  | 2021 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 24 | Б. сычуаньская ( <i>B. szechuanica</i> (C. K. Schneid.) Jansson)  | 2006  | 2020 (пл.) | »<br>(другие образцы в Саду не соответствуют названию)                          | Раннетеплый     |
| 25 | Бересклет Коопмана ( <i>Euonymus koopmannii</i> Lauche)   | ~1998 | 2003 (пл.) | Ориг.   | Поздне-холодный |
| 26 | Б. Форчуна ( <i>E. fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz. f. <i>radicans</i> (Miq.) Rehder)                                | 2000  | 2017 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 27 | Б. широколистный ( <i>E. latifolius</i> (L.) Mill.)   | 2011  | 2020 (пл.) | Там же  | Раннетеплый     |
| 28 | Бирючина обыкновенная ( <i>Ligustrum vulgare</i> L.)  | ~2004 | 2014 (пл.) | Ориг. (растение в 2006 г. с Кавказа)  | »               |
| 29 | Бузина канадская ( <i>Sambucus canadensis</i> L.)   | 2003  | 2011 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021<br>(была обрезана на пень, потом долго восстанавливалась) | Поздне-холодный |
| 30 | Виноград Куанье ( <i>Vitis coignetiae</i> Pulliat ex Planch.)   | 2005  | 2012 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Тот же          |
| 31 | Вишня кустарниковая ( <i>Cerasus fruticosa</i> Pall.)   | 1999  | 2006 (цв.) | Там же  | »               |
| 32 | В. тьянь-шанская ( <i>C. tianschanica</i> Rojark.)  | ~2009 | 2015 (цв.) | Ориг.   | Раннетеплый     |
| 33 | Восковница Уханова ( <i>Myrica</i> × <i>uchanovii</i> Byalt et Firsov ( <i>M. gale</i> L. × <i>M. tomentosa</i> DC.)) | 2009  | 2011 (пл.) | »   | Поздне-холодный |
| 34 | Вяз ( <i>Ulmus</i> × <i>arbuscula</i> E. Wolf ( <i>U. pumila</i> × <i>U. glabra</i> ))                                | 2009  | 2022 (пл.) | Ориг.   | Раннетеплый     |
| 35 | В. японский ( <i>U. japonica</i> (Rehder) Sarg.)  | ~1997 | 2014       | Фирсов и др., 2022  | »               |

## Продолжение таблицы

| 1  | 2   | 3     | 4          | 5   | 6               |
|----|---|-------|------------|---|-----------------|
| 36 | Гамamelis виргинский ( <i>Hamamelis virginiana</i> L.)  | 1972  | 2002 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 37 | Гольтерия лежачая ( <i>Gaultheria procumbens</i> L.)  | 1999  | 2001 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 38 | Гортензия Саржента ( <i>Hydrangea sargentiana</i> Rehder)   | 2017  | 2020 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннотеплый     |
| 39 | Г. лучистая ( <i>H. radiata</i> Walter)   | 2018  | 2022 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 40 | Г. мощная ( <i>H. robusta</i> Hook. f. & Thomson)   | 1996  | 2014 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 41 | Граб восточный ( <i>Carpinus orientalis</i> Mill.)  | ~1925 | 2010 (пл.) | Фирсов, Ткаченко, 2018;<br>Фирсов, Ярмишко, 2021  | Средний         |
| 42 | Г. каролинский ( <i>C. caroliniana</i> Walt.)   | 1989  | 2009 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 43 | Г. японский ( <i>C. japonica</i> Blume)   | 1988  | 2007 (пл.) | Фирсов и др., 2008, 2010;<br>Фирсов, Ярмишко, 2021  | Раннотеплый     |
| 44 | Груша зангезурская ( <i>Pyrus zangezura</i> Maleev)   | 2003  | 2016 (пл.) | Ткаченко и др., 2019;<br>Фирсов, Ярмишко, 2021  | »               |
| 45 | Г. кавказская ( <i>P. caucasica</i> Fed.)   | 1991  | 2002 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 46 | Дейция гибридная ( <i>Deutzia</i> × <i>hybrida</i> Lemoine ( <i>D. discolor</i> Hemsl. × <i>D. longifolia</i> Franch.)) | 2009  | 2013 (пл.) | Ориг.   | Поздне-холодный |
| 47 | Декеня Фаргеза ( <i>Decaisnea fargesii</i> Franch.)   | 2011  | 2019 (цв.) | Фирсов, 2019a (первое цветение 25 мая 2019 г. на феностате РВЗ и продолжалось около 20 сут). Подтвердили Г. А. Фирсов, В. Т. Ярмишко (2021) | Раннотеплый     |
| 48 | Дрок германский ( <i>Genista germanica</i> L.)  | 2005  | 2007 (пл.) | Ориг. (в 2008–2010 гг. уже обнаружен самосев).  | Средний         |
| 49 | Д. красильный ( <i>G. tinctoria</i> L.)   | 2001  | 2005 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 50 | Дуб белый ( <i>Quercus alba</i> L.)   | ~1886 | 2002 (пл.) | Фирсов и др., 2008, 2010;<br>Лаврентьев, Фирсов, 2015;<br>Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 51 | Д. зубчатый ( <i>Q. dentata</i> Thunb.)   | 1990  | 2009 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 52 | Д. крупноплодный ( <i>Q. macrocarpa</i> Michx.)   | 1977  | 2021 (цв.) | Там же  | »               |
| 53 | Д. курчавенький ( <i>Q. crispula</i> Blume)   | 2005  | 2017 (цв.) | »   | »               |
| 54 | Д. пильчатый ( <i>Q. serrata</i> Thunb.)  | 1998  | 2012 (цв.) | »   | Поздне-холодный |
| 55 | Дубровник гирканский ( <i>Teucrium hircanum</i> L.)   | 2014  | 2016 (пл.) | Ориг.   | Раннотеплый     |
| 56 | Ежевика неская ( <i>Rubus nessensis</i> Hall)   | ~2004 | 2007 (пл.) | »   | »               |
| 57 | Ель Глена ( <i>Picea glehnii</i> (F. Schmidt) Mast.)  | 1955  | 1996 (пл.) | Фирсов и др., 2015в, 2019;<br>Фирсов, Орлова, 2019;<br>Фирсов и др., 2020а  | »               |
| 58 | Е. корейская ( <i>P. koraiensis</i> Nakai)  | 1979  | 2014 (пл.) | Фирсов, Орлова, 2019;<br>Фирсов и др., 2020а  | Раннотеплый     |
| 59 | Е. Шренка ( <i>P. schrenkiana</i> Fisch. & С. А. Меу.)  | ~1965 | 2022 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 60 | Жимолость камчатская ( <i>Lonicera caerulea</i> L. var. <i>kamtschatica</i> Sevast.)                                    | 2001  | 2008 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 61 | Ж. илийская ( <i>L. iliensis</i> Pojark.)   | 2011  | 2014 (пл.) | Фирсов, Бялт, 2017;<br>Фирсов, Ярмишко, 2021  | »               |
| 62 | Ж. Стевена ( <i>L. steveniana</i> Fisch. ex Pojark.)  | 2014  | 2021 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 63 | Ж. узкоцветковая ( <i>L. stenantha</i> Pojark.)   | 2001  | 2005 (пл.) | Там же  | »               |

## Продолжение таблицы

| 1  | 2  | 3     | 4          | 5   | 6               |
|----|--|-------|------------|---|-----------------|
| 64 | Жимолость Толмачева ( <i>Lonicera tolmatchevii</i> Pojark.)  | 2004  | 2008 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 65 | Ж. Фердинанда ( <i>L. ferdinandii</i> Franch.)   | 1988  | 2008 (пл.) | Фирсов, Бялт, 2017;<br>Фирсов, Ярмишко, 2021  | »               |
| 66 | Ж. этруская ( <i>L. etrusca</i> Santi)   | ~2014 | 2021 (цв.) | Фирсов, Ярмишко (2021) отметили цв.<br>В прошлом вводили неоднократно, но была очень недолговечной из-за слабой зимостойкости | Средний         |
| 67 | Ж. Зайцева ( <i>L. × zaitzevii</i> V. V. Byalt, A. Byal et Firsov ( <i>L. demissa</i> Rehd. × <i>L. xylosteum</i> L.)) | 2009  | 2015 (пл.) | Фирсов и др., 2018;<br>Фирсов, Ярмишко, 2021  | Раннетеплый     |
| 68 | Жостер уссурийский ( <i>Rhamnus ussuriensis</i> J. J. Vassil.)   | 1998  | 2010 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 69 | Ж. японский ( <i>Rh. japonica</i> Maxim.)  | 1998  | 2008 (пл.) | Там же  | Раннетеплый     |
| 70 | Заманиха высокая ( <i>Oplonanax elatus</i> (Nakai) Nakai)  | ~1994 | 2003 (пл.) | »   | Поздне-холодный |
| 71 | Зверобой красильный ( <i>Hypericum androsaemum</i> L.)   | 1999  | 2001 (пл.) | Ориг.   | Средний         |
| 72 | З. олимпийский ( <i>H. olympicum</i> L.)   | 1999  | 2002 (пл.) | »   | »               |
| 73 | Ива кавказская ( <i>Salix caucasica</i> Anderss.)  | ~2008 | 2015 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021 (из экспедиции в 2011 г., погибла в 2022 г.)  | Раннетеплый     |
| 74 | И. кангинская ( <i>S. kangensis</i> Nakai)   | 2005  | 2009 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 75 | И. козья, подвид Хульгена ( <i>S. caprea</i> L. subsp. <i>hultenii</i> (B. Floder) Kom.)                               | ~2001 | 2008 (пл.) | Там же (из экспедиции в 2004 г.)  | Раннетеплый     |
| 76 | И. Коха ( <i>S. kochiana</i> Trautv.)  | 2005  | 2008 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 77 | И. Ледебура ( <i>S. ledebouriana</i> Trautv.)  | 2005  | 2009 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 78 | И. тонкостолбиковая ( <i>S. gracylestila</i> Miq.)   | 1997  | 2007 (пл.) | »   | Раннетеплый     |
| 79 | И. тарайкинская ( <i>S. taraiensis</i> Kimura)   | ~1997 | 2004 (пл.) | » (у второго образца из экспедиции 2004 г. пл. отмечено в 2005 г.)  | Поздне-холодный |
| 80 | И. удская ( <i>S. udensis</i> Trautv. & C. A. Mey.)  | ~1999 | 2006 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 81 | Иглица колхидская ( <i>Ruscus colchicus</i> Yeo)   | ~2006 | 2012 (цв.) | Ориг. (позже вымерзла)  | Поздне-холодный |
| 82 | Ирга ютская ( <i>Amelanchier utachensis</i> Koehne)  | 1982  | 2008 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021 (была посажена в затенённом месте, долго находилась в вегетативном состоянии).                          | Раннетеплый     |
| 83 | Иссоп узколистый ( <i>Hyssopus angustifolius</i> Bieb.)  | 2007  | 2009 (цв.) | Ориг.   | Средний         |
| 84 | Иtea виргинская ( <i>Itea virginica</i> L.)  | ~2007 | 2015 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 85 | Каликант цветущий ( <i>Calycanthus floridus</i> L.)  | 1996  | 2009 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 86 | Калина морщинистолстная ( <i>Viburnum rhytidophyllum</i> Hemsl.)   | ~1997 | 2021 (пл.) | Цв. отметили Фирсов, Ярмишко (2021), пл. приводится впервые   | »               |
| 87 | К. Райта ( <i>V. wrightii</i> Miq.)  | 1991  | 2001 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 88 | К. съедобная ( <i>V. edule</i> (Michx.) Raf.)  | 1999  | 2006       | Васильев и др., 2012;<br>Фирсов, Ярмишко, 2021  | Поздне-холодный |

## Продолжение таблицы

| 1   | 2  | 3     | 4          | 5   | 6               |
|-----|--|-------|------------|---|-----------------|
| 89  | Калина Фаррера ( <i>Viburnum farreri</i> Stearn)   | ~1992 | 2009 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021 (вид зимнего цветения, которое возможно в случае тёплых зим и длительных оттепелей) | Средний         |
| 90  | Кария овальная ( <i>Carya ovata</i> (Mill.) K. Koch)   | 1947  | 2011 (пл.) | Фирсов, Гаврилова, 2021; Фирсов, Ярмишко, 2021  | Поздне-холодный |
| 91  | Катальпа Бунге ( <i>Catalpa bungei</i> C. A. Mey.)   | 1993  | 2007 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 92  | К. прекрасная ( <i>Catalpa speciosa</i> (Warder) Warder ex Engelm.)  | 1992  | 2021 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 93  | Каштан посевной ( <i>Castanea sativa</i> Mill.)  | 2003  | 2022 (пл.) | Первое цв. отметили Г. А. Фирсов, В. Т. Ярмишко (2021), в 2022 г. были пл., хотя и недоразвитые           | Раннетеплый     |
| 94  | Кизил Уолтера ( <i>Cornus walteri</i> Wangerin)  | 2012  | 2019 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 95  | Кизильник Антонины ( <i>Cotoneaster</i> × <i>antoninae</i> Juz. ex N. I. Orlova ( <i>C. cinnabarinus</i> Juz. × <i>C. melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt)) | ~2004 | 2017 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 96  | К. крупноплодный ( <i>C. megalocarpus</i> Попов)   | 1998  | 2003 (пл.) | Ориг.   | Поздне-холодный |
| 97  | Кипарисовик туполистный ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> (Siebold & Zucc.) Endl.)   | 2009  | 2018 (пл.) | Фирсов, 2020  | Средний         |
| 98  | Кирказон крупнолистный ( <i>Aristolochia macrophylla</i> Lam.)   | 1958  | 2007 (пл.) | Ткаченко и др., 2020; Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 99  | Кладрастис кентуккийский ( <i>Cladrastis kentukea</i> (Dum. Cours.) Rudd)  | 1976  | 2013 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Поздне-холодный |
| 100 | Клекачка трехлистная ( <i>Staphylea trifolia</i> L.)   | 1999  | 2015 (цв.) | Там же  | Раннетеплый     |
| 101 | Клен бархатистый ( <i>Acer velutinum</i> Boiss.)   | ~2008 | 2015 (пл.) | »   | »               |
| 102 | К. виноградолистный ( <i>A. cissifolium</i> (Siebold et Zucc.) K. Koch)  | 1999  | 2019 (пл.) | Фирсов и др., 2021; Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 103 | К. волосовидный ( <i>A. capillipes</i> Maxim.)   | ~1996 | 2014 (пл.) | Фирсов и др., 2018a; Фирсов, Ярмишко, 2021 (растение из Швеции в 1998 г.)                                 | »               |
| 104 | К. Генри ( <i>A. henryi</i> Pax)   | 2001  | 2013 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Поздне-холодный |
| 105 | К. рыхлоцветковый ( <i>A. laxiflorum</i> Pax)  | 2010  | 2022 (цв.) | Ориг.   | Раннетеплый     |
| 106 | К. Гроссера ( <i>A. grosseri</i> Pax)  | 2006  | 2019 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 107 | К. Давида ( <i>A. davidii</i> Franch.)   | 1999  | 2012 (пл.) | Там же  | Поздне-холодный |
| 108 | К. дланевидный ( <i>A. palmatum</i> (Thunb.) Thunb)  | 1981  | 2007 (пл.) | Фирсов и др., 2008, 2010; Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 109 | К. калинолистный ( <i>A. opalus</i> Mill.)   | 1989  | 2019 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 110 | К. Комарова ( <i>A. tschonoskii</i> Maxim. subsp. <i>komarovii</i> (Pojark.) Nedoluzhko)   | 1982  | 2004 (пл.) | Там же (растение позже погибло от фитофторы)  | Поздне-холодный |
| 111 | К. Майра ( <i>A. mayrii</i> Schwer.)   | ~2001 | 2019 (пл.) | Там же (растение из экспедиции в 2004 г.)   | Раннетеплый     |

## Продолжение таблицы

| 1   | 2   | 3     | 4          | 5   | 6               |
|-----|---|-------|------------|---|-----------------|
| 112 | Клен пенсильванский ( <i>Acer pensylvanicum</i> L.)   | ~2001 | 2015 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021 (растение из Финляндии в 2003 г.)   | Раннетеплый     |
| 113 | К. сахарный ( <i>A. saccharum</i> Marshall)   | 1975  | 2011 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Поздне-холодный |
| 114 | К. серый ( <i>A. griseum</i> (Franch.) Pax)   | 1999  | 2019 (пл.) | Там же  | Раннетеплый     |
| 115 | К. трёхцветковый ( <i>A. triflorum</i> Kom.)  | 1958  | 2008 (пл.) | Фирсов и др., 2010; Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 116 | К. японский ( <i>A. japonicum</i> Thunb.)   | 1999  | 2015 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | »               |
| 117 | К. черный ( <i>A. saccharum</i> Marshall subsp. <i>nigrum</i> (Michx. f.) Desmarais)  | 1977  | 2011 (пл.) | Там же  | Поздне-холодный |
| 118 | Корилописис колосистый ( <i>Corylopsis sinensis</i> Hemsl.)   | 2002  | 2015 (цв.) | »   | Раннетеплый     |
| 119 | Красивоплодник японский ( <i>Callicarpa japonica</i> Thunb.)  | 2009  | 2012 (цв.) | »   | Поздне-холодный |
| 120 | Криптомерия японская ( <i>Cryptomeria japonica</i> (Thunb. ex L. f.) D. Don)  | 2009  | 2015 (пл.) | Фирсов, Орлова, 2019; Фирсов и др., 2020a   | Раннетеплый     |
| 121 | Курильский чай оголённый ( <i>Pentaphylloides glabrata</i> (Willd. ex Schlecht.) O. Schwarz ( <i>Potentilla davurica</i> Nestle)) | ~1999 | 2002 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 122 | Лаванда узколистная ( <i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)  | 2012  | 2016 (пл.) | Там же (отметили цветение)  | Раннетеплый     |
| 123 | Лапина узкокрылая ( <i>Pterocarya stenoptera</i> DC.)   | 1984  | 2011 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Поздне-холодный |
| 124 | Лейцестерия красивая ( <i>Leycesteria formosa</i> Wall.)  | 2009  | 2010 (цв.) | Ориг.   | Средний         |
| 125 | Леспедеца двуцветная ( <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.)   | 2006  | 2010 (цв.) | »   | »               |
| 126 | Лещина древовидная ( <i>Corylus colurna</i> L.)   | ~1980 | 2015 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021 (растение из питомника Лесотехнического университета, Санкт-Петербург, в 1989 г.) | Раннетеплый     |
| 127 | Л. большая ( <i>C. maxima</i> Mill.)  | 2016  | 2022 (пл.) | Фирсов, Ярмишко (2021) отмечали пл. только у пурпурнолистной формы.                                     | »               |
| 128 | Линдера смоляная ( <i>Lindera benzoin</i> (L.) Blume)   | 2003  | 2012 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Поздне-холодный |
| 129 | Липа разнолистная ( <i>Tilia heterophylla</i> Vent.)  | 1977  | 2014 (пл.) | Там же  | Раннетеплый     |
| 130 | Лириодендрон тюльпанный ( <i>Liriodendron tulipifera</i> L.)  | 1956  | 2019 (пл.) | »   | »               |
| 131 | Лиственница ольгинская ( <i>Larix olgensis</i> A. Henry)  | 1998  | 2013 (пл.) | Фирсов и др., 2020a   | Поздне-холодный |
| 132 | Ложнотополь сердцелистный ( <i>Toisusu cardiophylla</i> (Trautv. et C. A. Mey.) Kimura)   | ~2001 | 2008 (пл.) | Фирсов, Трофимук, 2019; Фирсов, Ярмишко, 2021 (растение в 2004 г. из экспедиции)                        | Раннетеплый     |
| 133 | Ломонос борщевиколистный ( <i>Clematis heracleifolia</i> DC.)   | 2000  | 2012 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021 (в первые годы сильно обмерзал, был перечеренкован)                               | Поздне-холодный |
| 134 | Луносемянник даурский ( <i>Menispermum dahuricum</i> DC.)   | 2008  | 2017 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |

## Продолжение таблицы

| 1   | 2  | 3     | 4          | 5   | 6               |
|-----|--|-------|------------|---|-----------------|
| 135 | Магнолия звездчатая ( <i>Magnolia stellata</i> (Siebold et Zucc.))   | 1993  | 2019 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 136 | М. кобус ( <i>M. kobus</i> DC.)  | 2002  | 2017 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 137 | М. лекарственная ( <i>M. officinalis</i> Rehd. & E. H. Wilson)   | 1996  | 2022 (пл.) | Первое цв. отметили Фирсов, Ярмишко (2021), первое пл. в 2022 г.                        | Раннетеплый     |
| 138 | М. обратнойщевидная ( <i>Magnolia obovata</i> Thunb.)  | 1990  | 2022 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 139 | Малина западная ( <i>Rubus occidentalis</i> L.)  | 1997  | 2001 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 140 | Малина Джиральда ( <i>Rubus giraldianus</i> Focke)   | ~1997 | 2008 (пл.) | Там же  | Раннетеплый     |
| 141 | Мензизия ржавая ( <i>Menziesia ferruginea</i> Sm.)   | 1999  | 2007 (пл.) | »   | »               |
| 142 | Метасеквойя глиптостробусовая ( <i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu & W. C. Cheng)                          | 1952  | 2018 (пл.) | Фирсов, Трофимук, 2021  | Средний         |
| 143 | Микробиота перекрёстнопарная ( <i>Microbiota decussata</i> Kom.)   | 1991  | 2010 (пл.) | Фирсов и др., 2010; Фирсов, Орлова, 2019  | »               |
| 144 | Можжевельник твёрдый ( <i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc.)  | ~1998 | 2009 (пл.) | Фирсов и др., 2020а   | »               |
| 145 | Мушмула германская ( <i>Mespilus germanica</i> L.)   | 1988  | 2008 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 146 | Нейлия китайская ( <i>Neillia sinensis</i> Oliv.)  | 2004  | 2007 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 147 | Норичник меловой ( <i>Scrophularia cretacea</i> Fisch. ex Spreng.)   | ~2006 | 2010 (цв.) | Ориг. (из экспедиции в 2009 г., позже вымерзла)   | Средний         |
| 148 | Ольховник вырезанный ( <i>Duschekia sinuata</i> (Regel) Pouzar)  | 1999  | 2007 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 149 | О. курчавый ( <i>D. crispa</i> (Aiton) Pouzar)   | 2001  | 2014 (пл.) | Там же  | »               |
| 150 | О. твердый ( <i>D. firma</i> (Siebold et Zucc.) Pouzar)  | 2008  | 2018 (пл.) | »   | Средний         |
| 151 | Острокильница чернеющая ( <i>Lembotropis nigricans</i> (L.) Griseb. ( <i>Cytisus nigricans</i> L.))            | 2005  | 2007 (пл.) | Ориг.   | Раннетеплый     |
| 152 | Падуб морщинистый ( <i>Ilex rugosa</i> Fr. Schmidt)  | ~2001 | 2012 (пл.) | Ориг. (из экспедиции в 2004 г., позже был высажен в парк и погиб)                       | Поздне-холодный |
| 153 | П. мутовчатый ( <i>I. verticillata</i> (L.) A. Gray)   | 1996  | 2004 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Тот же          |
| 154 | Персик обыкновенный ( <i>Persica vulgaris</i> Mill.)   | 2012  | 2021 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 155 | Пион жёлтый ( <i>Paeonia lutea</i> Delavay ex Franch.)   | 1996  | 2009 (пл.) | »<br>(первые годы сильно обмерзал)  | »               |
| 156 | Пихта арizonская ( <i>Abies arizonica</i> (Merriam))   | 1973  | 2019 (пл.) | Ориг.   | Раннетеплый     |
| 157 | П. Арнольда ( <i>A. × arnoldiana</i> Nitzelius) ( <i>A. koreana</i> E. H. Wilson) × <i>A. veitchii</i> Lindl.) | 2007  | 2018 (пл.) | Фирсов и др., 2020а   | Средний         |
| 158 | П. белая ( <i>A. alba</i> Mill.)   | 1971  | 2013 (пл.) | Фирсов, Хмарик, 2017а; Фирсов, Орлова, 2019; Фирсов и др., 2020а                        | Поздне-холодный |
| 159 | П. грациозная ( <i>A. gracilis</i> Kom.)   | 1986  | 2007 (пл.) | Фирсов и др., 2008; Фирсов, Хмарик, 2017а, b; Фирсов, Орлова, 2019; Фирсов и др., 2020а | Раннетеплый     |

Продолжение таблицы

| 1   | 2  | 3     | 4          | 5   | 6               |
|-----|--|-------|------------|---|-----------------|
| 160 | Пихта Майра ( <i>Abies sachalinensis</i> F. Schmidt var. <i>mayriana</i> Miyabe et Kudo) | ~2000 | 2019 (пл.) | Ориг. (растение из экспедиции в 2004 г.)  | Раннетеплый     |
| 161 | П. Семенова ( <i>A. semenovii</i> B. Fedtsch.)   | 1958  | 2000 (пл.) | Фирсов и др., 2008, 2010; Ткаченко и др., 2016; Фирсов, Хмарик, 2017а, б; Фирсов, Орлова, 2019; Фирсов и др., 2020а | Средний         |
| 162 | П. субальпийская ( <i>A. lasiocarpa</i> (Hook.) Nutt.)                                   | 1975  | 2008 (пл.) | Фирсов, Орлова, 2019; Фирсов и др., 2020а   | Раннетеплый     |
| 163 | Платикратер острый ( <i>Platycrater arguta</i> Siebold & Zucc.)                          | 2008  | 2010 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 164 | Полынь Маршалла ( <i>Artemisia marshalliana</i> Spreng.)                                 | ~2003 | 2007 (цв.) | Ориг. (позже погибла)   | Раннетеплый     |
| 165 | П. солянковидная ( <i>A. salsoloides</i> Willd.)   | ~2006 | 2010 (пл.) | » » »   | Средний         |
| 166 | Пузырник восточный ( <i>Colutea orientalis</i> Mill.)                                    | 2004  | 2007 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 167 | Пустынница Корина ( <i>Eremogone coriniana</i> (Fisch. ex Fenzl) Ikonn.)                 | ~2011 | 2015 (пл.) | Ориг. (из экспедиции в 2014 г., позже погибло)  | »               |
| 168 | Ракитничек австрийский ( <i>Chamaecytisus austriacus</i> (L.) Link)                      | 1999  | 2002 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 169 | Рододендрон Клементины ( <i>Rhododendron clementinae</i> Forrest ex W. W. Sm.)           | 2009  | 2022 (пл.) | Ориг.   | Раннетеплый     |
| 170 | Р. короткоплодный ( <i>Rh. brachycarpum</i> D. Don subsp. <i>tigerstedtii</i> Nitzelius) | 2002  | 2017 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 171 | Р. мелколистный ( <i>Rh. parvifolium</i> Adams)  | ~1995 | 2008 (пл.) | Ориг. (растение из экспедиции в 2004 г.)  | Раннетеплый     |
| 172 | Р. мелкоцветковый ( <i>Rh. micranthum</i> Turcz.)  | 2005  | 2010 (пл.) | Ориг.   | Средний         |
| 173 | Рута душистая ( <i>Ruta graveolens</i> L.)   | 2012  | 2016 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннетеплый     |
| 174 | Рябина греческая ( <i>Sorbus graeca</i> (Spach) Lodd. ex Schauer)                        | 1999  | 2015 (пл.) | Там же  | »               |
| 175 | Р. цвета слоновой кости ( <i>S. eburnea</i> McAll.)                                      | 1999  | 2008 (пл.) | Фирсов и др., 2018б; Фирсов, Ярмишко, 2021  | »               |
| 176 | Р. кашмирская ( <i>S. cashmiriana</i> Hedl.)   | ~2000 | 2011 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Поздне-холодный |
| 177 | Р. кустистая ( <i>S. frutescens</i> McAll.)  | 1999  | 2006 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 178 | Р. лестничная ( <i>S. scalaris</i> Koehne)   | ~2007 | 2019 (пл.) | »   | Раннетеплый     |
| 179 | Р. ольхолистная ( <i>S. alnifolia</i> (Siebold et Zucc.) K. Koch)                        | ~1995 | 2014 (пл.) | »<br>(растение в 1997 г. из экспедиции)   | »               |
| 180 | Р. персидская ( <i>S. persica</i> Hedl.)   | 1999  | 2006 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 181 | Р. Саржента ( <i>S. sargentiana</i> Koehne)  | ~2003 | 2022 (пл.) | Ориг. (прививка в 2006 г. на рябину обыкновенную)   | Раннетеплый     |
| 182 | Р. смешанная ( <i>S. reflexipetala</i> Koehne)   | 2000  | 2009 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 183 | Р. отдаленная ( <i>S. reducta</i> Diels)   | 2010  | 2019 (пл.) | Там же  | Раннетеплый     |
| 184 | Р. «Джозеф Рок» ( <i>S. sp. 'Joseph Rock'</i> )  | 2006  | 2015 (пл.) | Фирсов и др., 2018б; Фирсов, Ярмишко, 2021  | »               |
| 185 | Самшит Генри ( <i>Buxus henryi</i> Mayr)   | 2012  | 2022 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 186 | Саркококка приземистая ( <i>Sarcococca humilis</i> Rehd. et E. E. Wilson)                | 2017  | 2021 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Средний         |
| 187 | Сирень широколистная ( <i>Syringa oblata</i> Lindl. f. <i>alba</i> Rehd.)                | 1994  | 2004 (пл.) | Там же  | Поздне-холодный |

## Продолжение таблицы

| 1   | 2  | 3     | 4          | 5   | 6               |
|-----|--|-------|------------|---|-----------------|
| 188 | Сирень Дебельгера ( <i>Syringa debelgerorum</i> J. L. Fiala)   | 2006  | 2018 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021 (первое цв. в 2016 г., первое пл. в 2018 г.)                | Средний         |
| 189 | Слива согдийская ( <i>Prunus sogdiana</i> Vass.)   | 2010  | 2015 (цв.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Раннотеплый     |
| 190 | Корейская горная вишня ( <i>P. verecunda</i> (Koidz.) Koehne)  | 2013  | 2019 (цв.) | Там же  | »               |
| 191 | Смородина Биберштейна ( <i>Ribes biebersteinii</i> Berland. ex DC.)                                  | ~2009 | 2018 (цв.) | »   | Средний         |
| 192 | С. каменная ( <i>R. saxatile</i> Pall.)  | 2003  | 2008 (цв.) | »   | Раннотеплый     |
| 193 | С. Комарова ( <i>R. komarovii</i> Pojark.)   | 2006  | 2011 (пл.) | »   | »               |
| 194 | С. кроваво-красная ( <i>R. sanguineum</i> Pursh)   | 2006  | 2014 (пл.) | »   | »               |
| 195 | С. Максимовича ( <i>R. maximowiczianum</i> (Maxim.) Kom.)  | 1999  | 2005 (пл.) | »   | Средний         |
| 196 | С. печальная ( <i>R. triste</i> Pall.)   | 2001  | 2008 (цв.) | »   | Раннотеплый     |
| 197 | С. пучковатая ( <i>R. fasciculatum</i> Siebold & Zucc.)  | 2017  | 2020 (пл.) | »   | »               |
| 198 | Снежноцвет виргинский ( <i>Chionanthus virginicus</i> L.)  | 1954  | 2014 (пл.) | »   | »               |
| 199 | Снежногодник толуценский ( <i>Symphoricarpos toluensis</i> Hork. ex K. Koch)                         | 2005  | 2022 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 200 | Солнцецвет аппенинский ( <i>Helianthemum apenninum</i> (L.) Mill. var. <i>roseum</i> (Jacq.) Gross.) | 2001  | 2004 (пл.) | »   | Поздне-холодный |
| 201 | С. монетолистный ( <i>H. nummularium</i> (L.) Mill.)   | 2014  | 2016 (пл.) | »   | Раннотеплый     |
| 202 | Сосна густоцветковая ( <i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.)                                      | 1998  | 2014 (цв.) | Фирсов и др., 2020а   | »               |
| 203 | С. мелкоцветная ( <i>P. parviflora</i> Siebold & Zucc.)  | 2009  | 2022 (пл.) | Ориг.   | Раннотеплый     |
| 204 | С. Палласова ( <i>P. pallasiana</i> D. Don)  | 1960  | 2007 (пл.) | Фирсов и др., 2020а   | »               |
| 205 | С. смолистая ( <i>P. resinosa</i> Sol. ex Aiton)   | 1974  | 2007 (пл.) | Фирсов, Орлова, 2019; Фирсов и др., 2020а   | »               |
| 206 | С. Фриза ( <i>P. friesiana</i> Wich.)  | ~2006 | 2016 (пл.) | Там же  | »               |
| 207 | С. черная ( <i>P. nigra</i> J. F. Arnold)  | 1949  | 2007 (пл.) | »   | »               |
| 208 | Спирея городчатая ( <i>Spiraea crenata</i> L.)   | ~1998 | 2004 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021   | Поздне-холодный |
| 209 | С. зверобоелистная ( <i>S. hypericifolia</i> L.)   | ~1997 | 2005 (пл.) | Там же  | Средний         |
| 210 | С. низкая ( <i>S. humilis</i> Pojark.)   | 2005  | 2007 (пл.) | »   | Раннотеплый     |
| 211 | С. шелковистая ( <i>S. media</i> Fr. Schmidt var. <i>sericea</i> (Turcz.) Regel)                     | 1999  | 2006 (пл.) | »   | Средний         |
| 212 | Сумах оленерогий ( <i>Rhus typhina</i> L.)   | ~2013 | 2020 (пл.) | »   | Раннотеплый     |
| 213 | Тисс канадский ( <i>Taxus canadensis</i> Marshall)   | 2009  | 2015 (пл.) | Фирсов и др., 2020а   | »               |
| 214 | Тсуга каролинская ( <i>Tsuga caroliniana</i> Engelm.)  | 1991  | 2022 (пл.) | Ориг.   | »               |
| 215 | Туя корейская ( <i>Thuja koraiensis</i> Nakai)   | 1993  | 2005 (пл.) | Фирсов и др., 2020а   | Средний         |
| 216 | Т. складчатая ( <i>Th. plicata</i> Donn ex D. Don)   | 1997  | 2004 (пл.) | Фирсов, Орлова, 2019; Фирсов и др., 2020а (в 2008 г. получено семенное потомство) | Поздне-холодный |

## Окончание таблицы

| 1   | 2  | 3     | 4          | 5  | 6               |
|-----|--|-------|------------|--|-----------------|
| 217 | Фотергилла большая ( <i>Fothergilla major</i> Lodd.)   | ~2000 | 2008 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021  | Раннетеплый     |
| 218 | Фотиния мохнатая ( <i>Photinia villosa</i> (Thunb.) DC.)   | 1994  | 2003 (пл.) | Там же   | Поздне-холодный |
| 219 | Хмелеграб виргинский ( <i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch)   | ~1955 | 2010 (пл.) | »  | Средний         |
| 220 | Х. обыкновенный ( <i>O. carpinifolia</i> Scop.)  | 1999  | 2019 (пл.) | »  | Раннетеплый     |
| 221 | Чозения толокнянколистная ( <i>Chosenia arbutifolia</i> (Pall.) A. K. Skvortsov)                             | ~1998 | 2019 (пл.) | »  | »               |
| 222 | Чубушник Сатсуми ( <i>Philadelphus satsumi</i> Lindl. ex Paxton)   | 1998  | 2007 (пл.) | »  | Раннетеплый     |
| 223 | Шелковица атласная ( <i>Morus bombycis</i> Poir.)  | 2006  | 2018 (пл.) | »  | Средний         |
| 224 | Шиповник двузубый ( <i>Rosa × diploidonta</i> Dubovik)   | 2004  | 2008 (пл.) | Ориг.  | Раннетеплый     |
| 225 | Ш. длинноплодный ( <i>R. dolichocarpa</i> Galushko)  | 2014  | 2019 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021  | »               |
| 226 | Ш. кокандский ( <i>R. kokanica</i> (Regel) Regel ex Juz.)  | ~2004 | 2009 (пл.) | Там же   | Средний         |
| 227 | Ш. корейский ( <i>R. koreana</i> Kom.)   | 1998  | 2003 (пл.) | »  | Поздне-холодный |
| 228 | Ш. припудренный ( <i>R. pulverulenta</i> Bieb.)  | 2012  | 2017 (пл.) | Ориг.  | Средний         |
| 229 | Ш. Роксбурга ( <i>R. roxburghii</i> Tratt.)  | 2012  | 2017 (пл.) | »  | »               |
| 230 | Ш. терскольский ( <i>R. terskolensis</i> Galushko)   | 2012  | 2020 (пл.) | »  | Раннетеплый     |
| 231 | Ш. щитконосный ( <i>R. corymbifera</i> Borkh.)   | 2014  | 2019 (пл.) | »  | »               |
| 232 | Ш. Роксбурга вар. Хиргула ( <i>Rosa roxburghii</i> Tratt. var. <i>hirtula</i> (Regel) Rehd. et E. H. Wilson) | 1989  | 2013 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021 (до этого долго цвела, но пл. не было)     | Поздне-холодный |
| 233 | Экзохорда Джиральда ( <i>Exochorda giraldii</i> Hesse)   | 1993  | 2003 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021  | Тот же          |
| 234 | Э. кистистая ( <i>E. racemosa</i> (Lndl.) Rehd.)   | 2006  | 2013 (пл.) | Там же   | »               |
| 235 | Элеутерококк Симона ( <i>Eleutherococcus simonii</i> Decne.)   | 1994  | 2002 (пл.) | Ориг.  | Средний         |
| 236 | Яблоня бурая ( <i>Malus fusca</i> (Raf.) C. K. Schneid.)   | 1981  | 2011 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021  | Поздне-холодный |
| 237 | Ясень остроплодный ( <i>Fraxinus oxycarpa</i> Willd.)  | ~1965 | 2014 (пл.) | Фирсов и др., 2016б; Фирсов, Ярмишко, 2021                       | Раннетеплый     |
| 238 | Ясень поярковой ( <i>Fraxinus pojarkoviana</i> V. Vasssil.)  | 1980  | 2015 (пл.) | Фирсов, Ярмишко, 2021  | »               |
| 239 | Я. четырехгранный ( <i>F. quadrangulata</i> Michx.)  | 1965  | 2018 (пл.) | Там же   | Средний         |
| 240 | Ясменник пахучий ( <i>Asperula graveolens</i> M. Bieb. ex Schult. & Schult. f.)                              | 2005  | 2007 (цв.) | Ориг. (зацвела из семян на 3-й год, позже погибла от выпревания) | Раннетеплый     |

Примечание. (~) – приблизительный год появления в Ботаническом саду Петра Великого; пл. – плодоношение; цв. – цветение; ориг. – данные авторов, публикуемые впервые.

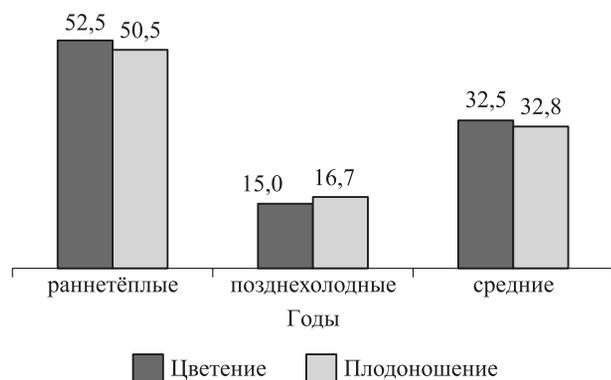
В таблице приведены год появления всходов (выращивания из черенков), год первого цветения и/или плодоношения и обозначен тип БКЦ (раннетеплый, средний или позднехолодный), когда впервые наблюдалось плодоношение (у некоторых видов первое цветение).

За период непрерывного фенологического мониторинга (1980–2022 гг.) в Ботаническом саду Петра Великого установлено, что на фоне потепления климата Санкт-Петербурга, начавшегося с конца 1980-х годов, биоклиматическая цикличность проявляется в чередовании раннетеплых (1989, 1990, 1992, 1995, 2007, 2008, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020, 2022 гг.) и позднехолодных (1980, 1982, 1985, 1987, 1996, 1998, 2003, 2004, 2006, 2011, 2012, 2013 гг.) лет.

В основном растения выращены из семян. При этом можно легко посчитать возраст перехода в репродуктивное состояние, но в ряде случаев они введены в коллекцию вегетативным способом, преимущественно черенкованием, или получены молодыми растениями (в случае экспедиционных привозов).

В таблицу включены 238 видов, из них только у 16.4 % (39 видов) начало первого плодоношения или цветения пришлось на позднехолодный год, а 50.8 % (121 вид) репродуктивного состояния достигли в раннетеплые годы, т. е. цикличность климата влияет на сроки вступления в репродуктивное состояние. На раннетеплые годы приходится большинство случаев, когда древесные растения начинают цвести и плодоносить, в 30.9 % случаев (73 вида) это приходится на средний год.

На рис. 1 показано соотношение древесных видов (в %), впервые вступивших в репродуктивное состояние в раннетеплые, позднехолодные и средние годы в Ботаническом саду Петра Великого (по данным 2001–2022 гг.).



**Рис. 1.** Соотношение древесных видов (%), впервые вступивших в репродуктивное состояние в Ботаническом саду Петра Великого (по данным 2001–2022 гг.).

В раннетеплые годы впервые зацвело 52.5 % видов (21 вид из 40 начавших цвести к 2022 г.) и 50.5 % (100 из 198 видов) заплодоносило, в позднехолодные годы – соответственно 15 % (6 из 40 видов) и 16.7 % (33 из 198 видов), в средние годы – 13 из 40 видов, т. е. 32.5 и 32.8 % (65 из 198 видов). Из гистограммы видно, что распределение по группам лет в зависимости от биоклиматических показателей схоже как по впервые заплодоносившим, так и по впервые зацветшим видам. На раннетеплые годы приходится более 50 % видов, как впервые зацветших, так и заплодоносивших. Что касается жизненных форм, то в этом списке преобладают кустарники разных групп роста.

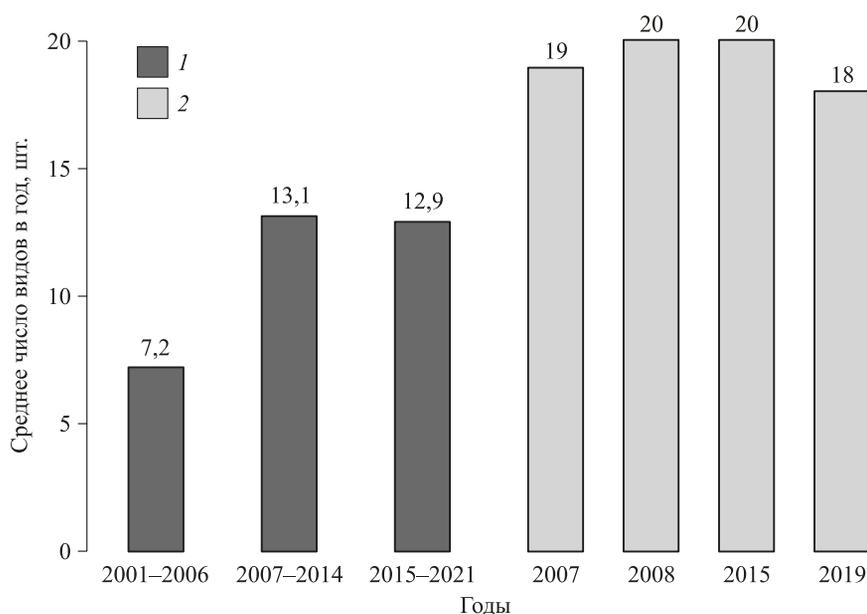
Но много и видов деревьев, в том числе и первой величины, которым требуется длительный период времени для вступления в репродуктивное состояние (пихта белая, пихта Семёнова, ель Глена и др.), имеются полукустарники (малина Джиральда), кустарнички, полукустарники и полукустарнички (дубровник гирканский), а также лианы (виноград Куанье).

На рис. 2 показан всплеск репродуктивной способности после 2007 г. Для сравнения: среднее число зацветших или заплодоносивших видов с 2001–2006 по 2007–2014 г. увеличилось на 5.9 (т. е. почти в 2 раза), Всплеск репродуктивных способностей наблюдался в 2007, 2008, 2015 и 2019 гг., когда впервые зацвело или заплодоносило 18–20 видов в год. В 2015 г. отмечено семеношение даже у криптомерии японской, считавшейся до этого оранжерейно-комнатным растением. Примерно на таком же уровне всплеск репродуктивных способностей поддерживается и после 2015 г. (почти вдвое больше видов, по сравнению с 2001–2006 гг.).

По числу видов самыми урожайными и благоприятными были четыре таких года: 2007 и 2008 гг. (два раннетеплых соседних года) – 19 и 20 видов, 2015 г. (один из самых теплых за всю историю наблюдений) – 20 видов и 2019 г. (18 видов).

В начале XXI в. продолжается прогрессирующее потепление климата, проявляющееся с конца 1980-х годов, после последней аномально холодной зимы 1986/87 гг. На этот период пришли самые теплые и короткие зимы за весь период (с 1752 г.) непрерывных инструментальных метеорологических наблюдений в Санкт-Петербурге, что, несомненно, благоприятно для репродуктивной сферы большинства растений.

Число случаев вступления в репродуктивное состояние заметно увеличилось после 2007 г.



**Рис. 2.** Число видов, вступивших в фазу цветения и/или плодоношения в Ботаническом саду Петра Великого БИН РАН за отдельные периоды (1) и в годы с максимальным первым цветением и плодоношением (2).

В 2015 г., было отмечено семеношение даже у криптомерии японской, считавшейся до этого оранжерейно-комнатным растением. Как раз в этот период времени впервые отмечено плодоношение ряда видов, которые десятки лет до этого находились в вегетативном состоянии (некоторые только цвели). Так, дуб белый культивируется здесь с 1886 г., но только в 2002 г. отмечено плодоношение и впервые получено семенное потомство (Лаврентьев, Фирсов, 2015). Снежноцвет виргинский есть в коллекции с 1954 г., отличается слабой зимостойкостью, в парке вымерз и остался только на питомнике. Многие годы отмечалось только цветение, и лишь в 2014 г. впервые – плодоношение.

По мнению Н. Е. Булыгина (1996), оценивать устойчивость тех или иных видов деревьев и кустарников и перспективность для разведения следует в позднехолодные годы (поскольку именно в такие годы снижается зимостойкость растений), а работы, связанные с размножением растений, проводить в раннетеплые биоклиматические циклы. Из данных таблицы видно, что раннетеплые годы действительно полезны для репродуктивной сферы растений. Однако очевидно, что в прошлом термические различия в разные биоклиматические циклы имели большее лимитирующее значение, чем сейчас. В настоящее время в условиях прогрессирующего потепления климата и позднехолодные годы могут становиться все более благоприятными для растений. Кроме того, это зависит и от условий

произрастаний видов в природе. Для таких видов, как багульник гренландский и лиственница ольгинская, у которых первое плодоношение пришлось на позднехолодный год, пониженная теплообеспеченность и более короткий вегетационный сезон – нормальное их состояние, они и существуют в таких условиях в природе. Для многих других растений более южного происхождения из стран теплого климата действительно, даже незначительное изменение теплообеспеченности имеет важное значение. Можно привести ряд примеров, когда на протяжении подготовки и публикации фундаментальной сводки «Деревья и кустарники СССР» (1949–1962) в условиях особенностей климата тех лет, который считали «нормой современного климата» (Фирсов, 2014; Фирсов, Волчанская, 2021), многие виды признавали заведомо не пригодными для культуры.

Вопросы качества пыльцы, изменения (улучшения) качества семян, обилие плодоношения в годы РТ и ПХ, пока недостаточно изучены, особенно на фоне современных тенденций изменений климата. На будущий урожай и качество плодов и семян влияют не только сумма положительных температур, но и особенности погоды во время цветения (осадки, их количество и продолжительность; для ветроопыляемых видов древесных растений имеет значение ветровой режим).

Изменение климата в сторону потепления дает возможность выращивать большее число

видов из семян местной репродукции, и в конечном счете, способствовать их акклиматизации и введению в практику городского озеленения. Почему же происходит такой «всплеск» репродуктивных способностей растений, и как это видно из данных таблицы?

– Этому способствует смягчение зимних температур. Повышение минимальной температуры воздуха уже привело к смещению границ зимней устойчивости древесных растений, и границы зон все сильнее смещаются к северу и востоку (Фирсов, Хмарик, 2016). Особенно важно повышение зимних температур для тех видов деревьев и кустарников, у которых цветочные почки закладываются летом года, предшествующего цветению (Булыгин, 1979). В прошлом у таких видов в холодные зимы они просто вымерзали.

– Значительное удлинение вегетационного периода способствует вызреванию вегетативных побегов, а также плодов и семян. В прошлом в неблагоприятные годы не вызревали семена даже у видов местной флоры (как у клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в 1976 г.).

– Очень важно увеличение безморозного периода, особенно для раннецветущих видов, таких как клен серебристый (*Acer saccharinum* L.) (Булыгин, Фирсов, 1985).

– Для развития их репродуктивной сферы важное значение имеют высокие летние температуры (например, как для карины овальной (*Carya ovata* (Mill.) K. Koch), интродукта с востока Северной Америки). После аномально жаркого лета 2010 г. с так называемым «блокирующим антициклоном» на научно-опытной станции БИН РАН «Отрадное» (Ленинградская область) отмечен самосев багрянника японского (*Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc.) (Фирсов и др., 2020б).

– Возможно, что для насекомоопыляемых видов растений более высокие температуры воздуха в период цветения оказывают благоприятное влияние на посещение цветков насекомыми-опылителями и, следовательно, на возможность опыления.

Потепление климата значительно расширяет возможности привлечения в культуру многих теплолюбивых видов более южных широт (Ткаченко и др., 2020).

Еще одна сторона этого вопроса, что на фоне продолжающегося потепления климата появляется самосев целого ряда видов, у которых он ранее не наблюдался (граб обыкно-

венный (*Carpinus betulus* L.), кипарисовик горохоплодный (*Chamaecyparis pisifera* (Siebold & Zucc.) Endl.), вишня Максимовича (*Cerasus maximowiczii* (Rupr.) Kom.), спирея березолистная (*Spiraea betulifolia* Pall.) и др.). Это служит важным показателем адаптации и признаком возможной будущей натурализации вида на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (и в целом на Северо-Западе России). При этом многие виды могут стать и становятся потенциально инвазионными (Фирсов, Бялт, 2015; Фирсов и др., 2017а, б), что ставит вопросы об их тщательном мониторинге и культуре в контролируемых условиях. Особенности появления и развития самосева у разных видов в годы РТ и ПХ – вопрос дальнейших углубленных исследований.

В целом надо учитывать, что цикличность существует при любом климате. Интродукторы, садоводы и лесоводы должны учитывать ее в своей работе. На фоне выраженного потепления климата имеет место чередование раннетеплых и позднехолодных биоклиматических циклов или отдельных лет, когда одни и те же растения обнаруживают совсем разные показатели фенологического биоритма, уровней адаптированности и репродуктивной способности.

В современных условиях важно организовать массовое и целенаправленное выращивание растений из семян местной репродукции. Это стало актуальным в условиях начала 1990-х годов, когда с открытием границ после распада бывшего Советского Союза в страну стал поступать поток разных видов и культиваров, ранее не испытанных, не районированных и зачастую не пригодных для климатических условий, в частности Северо-Запада России. Сейчас представляется возможность внедрить в местные питомники для размножения целый ряд интересных и проверенных деревьев и кустарников (ель Глена, смородину пучковатую, рябину Саржента и др.), которые стали продуцировать полноценные жизнеспособные семена.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые проведен анализ репродуктивной активности почти 240 видов древесных растений разных жизненных форм коллекции Ботанического сада Петра Великого БИН РАН как реакции на происходящее и фиксируемое потепление климата за последние 22 года, с начала XXI в.

Установлено, что на фоне потепления климата Санкт-Петербурга, начавшегося с конца 1980-х годов, биоклиматическая цикличность проявляется в чередовании раннетёплых и поздних холодных лет. Это отражается на репродуктивной способности древесных растений и на способности их пережить зимние условия. Все наиболее суровые и неблагоприятные зимы пришлись на поздних холодные годы. В раннетёплые годы по сравнению с поздних холодными заметно теплее самые холодные зимние месяцы года, достаточно заметное различие проявляется и весной. В XXI в. имеет место всплеск репродуктивной способности древесных растений разных жизненных форм. За 2001–2022 гг. в репродуктивное состояние вступили 238 видов, многие из которых до этого в течение десятилетий находились в вегетативном состоянии. Особенно заметно улучшение в репродуктивной сфере растений после аномально теплой зимы 2006/07 г. Оно усилилось после 2015 г., который стал самым теплым за период инструментальных метеорологических наблюдений. При этом 50,8 % случаев вступления в первое плодоношение (цветение) приходится на раннетёплые годы, и только 16,4 % – на поздних холодные.

В начале XXI в. в Санкт-Петербурге заметно увеличилось число видов деревьев и кустарников, достигших репродуктивного состояния. У целого ряда растений отмечен «всплеск» перехода в репродуктивный период и впервые за длительный период интродукции было получено семенное потомство. В таких условиях, когда так заметно меняются уровни адаптированности и по-разному проявляются биологические особенности растений, несомненно, возрастает роль и значение ведения и обработки длительных рядов непрерывных фенологических наблюдений.

В условиях потепления и изменения климата еще не до конца изучены отдельные факторы, влияющие на рост, развитие и продолжительность жизни древесных растений. Важно проверить, меняется ли и как циркуляция атмосферы, скорость и направление ветра на протяжении последних десятилетий. Летом 2010 г. мы столкнулись с таким явлением, как «блокирующий антициклон», когда в условиях аномально жаркой погоды и при длительной засухе определяющими факторами стали жаростойкость и засухоустойчивость растений. В таких условиях очень важными становятся непрерывный мониторинг, накопление и обработка длительных рядов непрерывных фенологических и метеорологических наблюдений.

Присущие климату циклические колебания приводят к проявлению у растений различных уровней адаптации. При подведении итогов интродукции и оценке перспективности для разведения необходимо учитывать цикличность климата, сезонный ритм растений и их ритмадаптивные связи. В таких условиях открываются широкие возможности для пополнения, расширения и улучшения ассортимента древесных растений городских зелёных насаждений Санкт-Петербурга и всего Северо-Запада России в целом.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по плановой теме № 122011900031-0 «Коллекции живых растений Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (история, современное состояние, перспективы развития и использования)».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Булыгин Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л.: ЛЛТА им. С. М. Кирова, 1979. 97 с.
- Булыгин Н. Е. Биоклиматическая цикличность и зимостойкость древесных интродуцентов // Тезисы докладов VIII дендрологического конгресса социалистических стран. Тбилиси, 1982а. С. 219.
- Булыгин Н. Е. Биологические основы дендрофенологии. Л.: ЛЛТА им. С. М. Кирова, 1982б. 80 с.
- Булыгин Н. Е. Короткопериодные колебания климата и интродукция растений // Труды Первой Всероссийской конференции по ботаническому ресурсоведению, Санкт-Петербург, 25–30 ноября 1996 г. СПб., 1996. С. 113.
- Булыгин Н. Е., Довгулевич З. Н. О фенологической тенденции и цикличности в «вековых» фенологических рядах на Северо-Западе России // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Межвуз. сб. науч. тр. Л.: ЛЛТА им. С. М. Кирова, 1974. Вып. 3. С. 25–33.
- Булыгин Н. Е., Фирсов Г. А. Клен серебристый в Ленинграде и перспективы его использования в озеленении на Северо-Западе РСФСР. Рукопись представлена ЛЛТА им. С. М. Кирова. Деп. в ВИНТИ 26.08.1985 г. № 6296-85. Деп. 31 с.
- Булыгин Н. Е., Фирсов Г. А. Биоклиматическая цикличность и адаптация древесных растений муссонного климата при интродукции их на Северо-Запад России // Материалы Международной конференции, посвященной 50-летию Ботанического сада-института ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 157–160.
- Васильев Н. П., Волчанская А. В., Сорокин А. А., Фирсов Г. А. О сохранении *Viburnum edule* (Viburnaceae) in situ и ex situ // Раст. мир Азиат. России. 2012. № 2 (10). С. 139–141.
- Волчанская А. В., Фирсов Г. А., Лаврентьев Н. В. Клён японский (*Acer japonicum* Thunb.) в Санкт-Петербурге // Вестн. ОрелГАУ. 2010. № 2 (23). С. 66–72.

- Деревья и кустарники СССР: дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции: в 6 т. М.; Л.: Изд-во АН СССР. Т. 1: Голосеменные / ред. С. Я. Соколов, Б. К. Шишкин, 1949. 464 с.; Т. 2: Покрытосеменные / ред. С. Я. Соколов, 1951. 612 с.; Т. 3: Покрытосеменные. Семейства Троходендроновые – Розоцветные / ред. С. Я. Соколов, 1954. 872 с.; Т. 4: Покрытосеменные. Семейства Бобовые – Гранатовые / ред. С. Я. Соколов, 1958. 976 с.; Т. 5: Покрытосеменные. Семейства Миртовые – Маслиновые / ред. С. Я. Соколов, 1960. 544 с.; Т. 6: Покрытосеменные. Семейства Логаниевые – Сложноцветные / ред. С. Я. Соколов, 1962. 380 с.*
- Лаврентьев Н. В., Фирсов Г. А. Дуб белый (*Quercus alba* L., Fagaceae) в Санкт-Петербурге // Изв. СПбЛТА. 2015. Вып. 212. С. 29–41.
- Латин П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции // Бюл. Гл. бот. сада АН СССР. 1967. Вып. 65. С. 13–18.
- Ткаченко К. Г., Фирсов Г. А., Волчанская А. В. Качество семян *Aristolochia macrophylla* Lam. и *A. manshuriensis* Kom. в Санкт-Петербурге // Тр. по прикл. бот., генет. и селекц. 2020. Т. 181. № 2. С. 14–22.
- Ткаченко К. Г., Фирсов Г. А., Грязнов А. Ю., Староверов Н. Е. *Abies semenovii* V. Fedtsch. в Ботаническом саду Петра Великого // Hortus bot. 2016. Т. 11. С. 111–118.
- Ткаченко К. Г., Фирсов Г. А., Яндовка Л. Ф., Волчанская А. В., Староверов Н. Е., Грязнов А. Ю. Груша зангезурская (*Pyrus zangezura*, Rosaceae) в Санкт-Петербурге // Тр. по прикл. бот., генет. и селекц. 2019. Т. 180. Вып. 3. С. 12–18.
- Фадеева И. В., Фирсов Г. А., Булыгин Н. Е. Биоклиматическая цикличность в Санкт-Петербурге в конце XX в. и ее влияние на интродуцированную и местную дендрофлору // Бот. журн. 2009. Т. 94. № 9. С. 1351–1358.
- Фирсов Г. А. Древесные растения ботанического сада Петра Великого (XVIII–XXI вв.) и климат Санкт-Петербурга // Ботаника: история, теория, практика (к 300-летию основания Бот. ин-та им. В. Л. Комарова РАН): Тр. Междунар. науч. конф. СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2014. С. 208–215.
- Фирсов Г. А. Первое цветение *Decaisnea fargesii* Franch. (Lardizabalaceae) в Ботаническом саду Петра Великого БИН РАН // Цветоводство: история, теория, практика: Сб. ст. IX Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 7–13 сент. 2019 г. СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2019а. С. 226–228.
- Фирсов Г. А. Коллекция растений рода *Chamaecyparis* Sprach (Cupressaceae) в Ботаническом саду Петра Великого БИН РАН // Бюл. Гл. бот. сада. 2020. Вып. 206. № 4. С. 9–15.
- Фирсов Г. А., Бялт В. В. Новые формы клёнов (*Acer* L., Aсeгасеае), культивируемые в Ботаническом саду Петра Великого в г. Санкт-Петербурге (Россия) // Hortus bot. 2015. Т. 10. С. 100–106.
- Фирсов Г. А., Бялт В. В. Род *Lonicera* L. в Ботаническом саду Петра Великого // Hortus bot. 2017. № 12. С. 235–248.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В. Древесные растения в условиях климатических изменений в Санкт-Петербурге. М.: Маска, 2021. 128 с.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г. Ель Глена (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast., Pinaceae) в Санкт-Петербурге // Вестн. Волгоград. гос. ун-та. Сер. 11. Естеств. науки. 2015в. № 2 (12). С. 27–39.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г. Ясень Полярковой (*Fraxinus pojarkoviana* V. Vassil., Oleaceae) в Санкт-Петербурге // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Хим. Биол. Фарм. 2016а. № 4. С. 105–109.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г. Жимолость Толмачёва (*Lonicera tolmatchevii* Pojark., Caprifoliaceae) в Санкт-Петербурге // Hortus bot. 2017а. Т. 12. С. 254–260.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г. Клён волосовидный (*Acer capillipes* Maxim. ex Miq., Sapindaceae) в Санкт-Петербурге // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Хим. Биол. Фарм. 2018а. № 1. С. 152–158.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г. Рябина «Джозеф Рок» (*Sorbus Joseph Rock*, Rosaceae) в Санкт-Петербурге // Вестн. Удмурт. гос. ун-та. Сер. биол. Науки о земле. 2018б. Т. 28. Вып. 2. С. 130–137.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г., Староверов Н. Е., Грязнов А. Ю. Ясень остроплодный (*Fraxinus oxycarpa* M. Vieb. ex Willd., Oleaceae) в Ботаническом саду Петра Великого // Бюл. Бот. сада-ин-та ДВО РАН. 2016б. Вып. 16. С. 16–21.
- Фирсов Г. А., Волчанская А. В., Ткаченко К. Г., Староверов Н. Е., Грязнов А. Ю. Айва обыкновенная (*Sydonia oblonga*, Rosaceae) в Ботаническом саду Петра Великого // Тр. по прикл. бот., генет. и селекц. 2017б. Т. 177. Вып. 4. С. 28–36.
- Фирсов Г. А., Гаврилова О. А. Интродукционный потенциал *Carya ovata* (Juglandaceae) в Санкт-Петербурге // Раст. рес. 2021. Т. 57. Вып. 1. С. 83–88.
- Фирсов Г. А., Егоров А. А., Фадеева И. В., Бялт В. В. К вопросу об ассортименте древесных растений парков Санкт-Петербурга // Hortus bot. 2010. № 5. С. 26–40.
- Фирсов Г. А., Орлова Л. В. Хвойные в Санкт-Петербурге. Изд. второе, расшир. и перераб. СПб.: Дом садовой лит-ры, 2019. 492 с.
- Фирсов Г. А., Орлова Л. В., Волчанская А. В. Аннотированный каталог голосеменных растений парка-дендрария Ботанического сада Петра Великого БИН РАН. СПб.: Первый ИПХ, 2020а. 208 с.
- Фирсов Г. А., Орлова Л. В., Хмарик А. Г. Род *Picea* A. Dietr. (Pinaceae) в Ботаническом саду Петра Великого // Hortus bot. 2019. Т. 14. С. 246–285.
- Фирсов Г. А., Семёнова Н. С., Трофимук Л. П. Род *Liriodendron* L. (Magnoliaceae) в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Вестн. Удмурт. гос. ун-та. Сер. биол. Науки о земле. 2018. Т. 28. Вып. 3. С. 235–241.
- Фирсов Г. А., Ткаченко К. Г. Граб восточный (*Carpinus orientalis* Mill., Betulaceae) в Санкт-Петербурге // Бюл. Гл. бот. сада. 2018. Вып. 204. № 2. С. 9–15.
- Фирсов Г. А., Ткаченко К. Г. Улучшение репродуктивных возможностей древесных растений в Санкт-Петербурге в условиях потепления климата в начале XXI века // Пространственно-временные аспекты функционирования биосистем: Материалы XVI Междунар. науч. экол. конф., посв. пам. А. В. Присного, Белгород, 24–26 ноября 2020 г. Белгород: Изд. дом «Белгород», 2020. С. 260–263.

- Фирсов Г. А., Ткаченко К. Г., Трофимова А. С. Клёны (*Acer* L.) Ботанического сада Петра Великого Ботанического института им. В. Л. Комарова Российской академии наук // Полевой журн. биол. 2021. Т. 3. № 4. С. 357–369.
- Фирсов Г. А., Трофимова А. С., Трофимук Л. П. Вяз японский (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg.) в Ботаническом саду Петра Великого в Санкт-Петербурге // Вестн. Удмурт. гос. ун-та. Сер. биол. «Науки о земле». 2022. Т. 32. Вып. 1. С. 5–9.
- Фирсов Г. А., Трофимук Л. П. Ложнотополь сердцелистный (*Toisusu cardiophylla* (Trautv. et C. A. Mey.) Kimura, Salicaceae) в Санкт-Петербурге // Бюл. Гл. бот. сада. 2019. Вып. 205. № 1. С. 39–44.
- Фирсов Г. А., Трофимук Л. П. О получении семенного потомства метасеквойи (*Metasequoia glyptostroboides* Hu et W. C. Cheng, Taxodiaceae) в Санкт-Петербурге // Вестн. Удмурт. гос. ун-та. Сер. биол. Науки о земле. 2021. Т. 31. Вып. 2. С. 143–151.
- Фирсов Г. А., Трофимук Л. П., Орлова Л. В. Пихта грациозная (*Abies gracilis* Kom.) в ботаническом саду Петра Великого в Санкт-Петербурге // Бюл. Бот. сада-ин-та ДВО РАН. 2015. Вып. 14. С. 4–10.
- Фирсов Г. А., Фадеева И. В. Изменение климата и возможные изменения ассортимента древесных растений Санкт-Петербурга // Бюл. Гл. бот. сада. 2020. Вып. 206. № 1. С. 57–63.
- Фирсов Г. А., Фадеева И. В., Булыгин Н. Е. Биоклиматическая цикличность в Санкт-Петербурге в XIX – второй половине XX вв. // Проблема и стратегия сохранения биоразнообразия растительного мира Северной Азии: Материалы Всерос. конф., Новосибирск, 9–11 сент. 2009 г. Новосибирск: Офсет, 2009. С. 251–253.
- Фирсов Г. А., Фадеева И. В., Волчанская А. В. Влияние метео-фенологической аномалии зимы 2006/07 года на древесные растения в Санкт-Петербурге // Лесн. вестн. 2008. № 6 (63). С. 22–28.
- Фирсов Г. А., Хмарик А. Г. Смещение зон зимней устойчивости древесных растений на Северо-Западе России в условиях потепления климата // Вестн. Удмурт. гос. ун-та. Сер. биол. «Науки о земле». 2016. Т. 26. Вып. 3. С. 58–65.
- Фирсов Г. А., Хмарик А. Г. Род пихта (*Abies* Mill., Pinaceae) в Ботаническом саду Петра Великого // Вестн. Волгоград. гос. ун-та. Сер. 11. Естеств. науки. 2017а. Т. 7. № 1. С. 7–18.
- Фирсов Г. А., Хмарик А. Г. Род сосна (*Pinus* L., Pinaceae) в Ботаническом саду Петра Великого // Вестн. Волгоград. гос. ун-та. Сер. 11. Естеств. науки. 2017б. Т. 7. № 3. С. 13–24.
- Фирсов Г. А., Хмарик А. Г., Трофимук Л. П. Багрянник японский (*Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc.) на северо-востоке Карельского перешейка (Ленинградская область) // Бюл. Гл. бот. сада. 2020б. Вып. 206. № 2. С. 25–30.
- Фирсов Г. А., Ярмишко В. Т. Аннотированный каталог покрытосеменных растений Парка-дендрария Ботанического сада Петра Великого БИН РАН. М.: РОСА, 2021. 452 с.

## THE INFLUENCE OF SHORT-TERM CLIMATE FLUCTUATIONS ON THE REPRODUCTIVE CAPACITY OF WOODY PLANTS IN ST. PETERSBURG

G. A. Firsov, K. G. Tkachenko, A. V. Volchanskaya, I. V. Fadeeva

*Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences  
Professor Popov str., 2, St. Petersburg, Russian Federation*

---

E-mail: gennady\_firsov@mail.ru, kigatka@gmail.com, sandalet@mail.ru, butvil@mail.ru

At the beginning of the 21<sup>st</sup> century in St. Petersburg, the number of species of trees and shrubs that have entered a reproductive state has noticeably increased. A number of them produced seed offspring for the first time over a long period of introduction. In such conditions, when the levels of adaptation change so noticeably and the biological characteristics of different plant species manifest themselves differently, the role and importance of conducting and processing long-term series of continuous phenological observations undoubtedly increases. During the period of continuous phenological monitoring (1980–2022) in the Botanical Garden of Peter the Great Komarov Botanical Institute Russian Academy of Sciences established that against the backdrop of climate warming in St. Petersburg, which began in the late 1980s, biological cyclicality, according to N. E. Bulygin, manifests itself in the alternation of early warm periods (1989, 1990, 1992, 1995, 2007, 2008, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020, 2022) and late cold years (1980, 1982, 1985, 1987, 1996, 1998, 2003, 2004, 2006, 2011, 2012, 2013), which is reflected on the reproductive activity of woody plants and their ability to survive winter conditions. For the period 2001–2022 238 species entered the reproductive state, many of which had previously been in a vegetative state for decades. The improvement in the reproductive sphere of plants is especially noticeable after the abnormally warm winter of 2006/07; it intensified in 2015. This year and 2020 became the warmest during the period of instrumental meteorological observations in St. Petersburg. 50.8 % of cases of the first flowering and fruiting occur in early warm years; and only 16.4 % of cases – in late cold years. When summing up the results of introduction and assessing the prospects for breeding woody plants for urban floristics, it is necessary to take into account the cyclical climate of the region, the seasonal rhythm of plant development and their rhythm-adaptive connections.

**Keywords:** *plant introduction, phenology, monitoring, park-arboretum, Peter the Great Botanical Garden, climate cyclicality.*

**How to cite:** *Firsov G. A., Tkachenko K. G., Volchanskaya A. V., Fadeeva I. V. The influence of short-term climate fluctuations on the reproductive capacity of woody plants in St. Petersburg // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. 84–102 (in Russian with English abstract and references).*

UDC 630\*9

## FOREST IN COMPARATIVE LAW: GERMANY, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, CANADA, NIGERIA, AND TÜRKIYE

H. Çalışkan<sup>1</sup>, Ü. Birben<sup>2</sup>, S. Özden<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çankırı Karatekin University, Graduate School of Natural and Applied Sciences  
15 Temmuz Şehitleri Blv, No. 10, Yeni Mahalle, Çankırı, 18200 Türkiye

<sup>2</sup> Çankırı Karatekin University, Faculty of Forestry  
Bademlik Cd., No. 8, Yeni Mahalle, Çankırı, 18200 Türkiye

E-mail: hcaliskanphd@gmail.com, birben@karatekin.edu.tr, sozden26@gmail.com

Received 02.11.2022

Forest governance around the globe has been making positive progress in the sense of resource management in the last decade. However, differences in legal systems and policies cause some difficulties in advancing towards the common goal of forest sustainability. This study is aimed to contribute resources sustainability by comparing forest laws in different legal systems so, as to get good governance and practice examples. The legal systems discussed have been determined as Romano-Germanic (Civilian), Anglo-Saxon, Islamic, and Socialist law. To represent these legal systems Germany, Canada, Nigeria, the People's Republic of China, and Türkiye have been selected. Forest laws of those countries examined and discussed for definition of forest, ownership types, and protection. It has been concluded different legal systems has an important effect on forest perception and the spatial area of forests. The sustainability approach in the Chinese Forest Law has more positive effects on the forest when compared to other laws. That kind of perception of forest law may lead better forest governance and could be the best example for the rest of the world.

**Keywords:** *Forest law, forest perception, legal systems, national point of view, sustainability.*

**How to cite:** Çalışkan H., Birben Ü., Özden S. Forest in comparative law: Germany, People's Republic of China, Canada, Nigeria, and Türkiye // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 2. P. ... (in English with Russian abstract).

DOI: 10.15372/SJFS20240211

### INTRODUCTION

World's legal systems are grouped mainly under four headings: Romano-Germanic also called Civil or Civilian law, Anglo-Saxon, Islamic and the Socialist law (Imre, 1976). In addition to that Turkish law, occupies an unique position among those. Republic of Türkiye has benefited from various legal systems in order to set out its law system after the sovereignty. There are some traces of Islamic Law, while the origin of the Turkish Law adopted from Italy and Switzerland of which have ties to Germanic Law, also called the Civilian Law or Romano-Germanic Law. For this reason, Turkish Law bears the traces of several legal systems. In this study, it is aimed to examine the effects of the legal systems on

forest resource governance by taking the definition, ownership and protection of forest via the selected countries.

Mankind has seen forests as a source of life for centuries. Thus, forests have been relatively destroyed and still under pressure, and that process continues to increase (FAO, UNEP, 2020). This situation may cause two different interpretations for policy makers and legislators: 1) The change in forest area, especially its decrease, may cause to change forest perception of countries, 2) Forest perception of countries and individuals may affect the amount of world forests.

Since countries or rulers tend to direct the law according to their policies, the relationship between law and policy is processed in two steps as making

and implementing laws (Mizrak, Temiz, 2009). From this point of view, we may say that laws are shaped according to the policies. The results of the changes made by countries in their forest policies emerge after many years (Erdonmez, Yurdakul Erol, 2021). For this reason, forest perception relates to the laws of the countries. We aimed to see the deterrent effect in the forest laws of studied countries and examined the definitions and penalties for forest crimes in laws. Forest crime is an enduring global problem, affecting not only forest leading countries, but also many countries in temperate and tropical regions (FAO, 2020a). In order to avoid this problem, the forest perceptions of countries are important for the steps to be taken specifically to prevent illegal cutting, which corresponds to 30 % of global wood production (Interpol, 2019), and many other forest crimes. Forest crimes are often connected to other crimes such as tax evasion, corruption, forgery and laundering (Interpol, 2019). In addition, it causes to deteriorate the forestry sector and institutions with its dimensions extending to bribes for privilege purposes. To prevent this, countries can make some amendments in their laws over time (Kishor, Damania, 2007).

Forest is defined by the FAO as a land with a tree canopy cover of more than 10 % and area of more than 0.5 ha (FAO, 2001). However, definitions of forests are different due to particular definitions in many sources, so these differences affect how deforestation and reforestation might be interpreted (Lund, 2014). Lund compared with nearly 1.600 various definitions of forest and forestland, and examined these definitions in four classes as “administrative, land cover, land use and potential land capability”. For example, 5 meters and higher woody plants are included in FAO’s definition of forest, while the height criterion in the 2/B Regulation for Türkiye is at least 8 meters, according to the information received from professionals (Lund, 2014).

In this study, Germany is an example of Romano-Germanic law and has the fourth largest economy in the world, while China is an example of socialist law and has the world’s second largest economy (IMF, 2021). Germany uses FAO’s definition criteria when describing its forests. Considering the definition of FAO, China’s forest gain between 2000 and 2010 is seen to be larger than the total area of Germany, the Netherlands, Luxembourg and Belgium (FAO, 2010). This situation indicates a smaller area than Germany when considering China’s own definition but considering the public’s

perception, the area even smaller than the size of the Netherlands will be considered (Ahrends et al, 2017).

Canada has almost 10 % of the world’s forests and ranks third among the countries with the most forest assets (FAO, 2020a). In this study, Canada, an example of Anglo-Saxon law, draws attention as one of the world’s largest timber exporters, wood pulp and newsprint (FAO, 2022). This shows us that the demand on forests and forest products is high in this country. Despite this demand, Canadian forests are in balance according to the FAO (2020a) report.

Nigeria is included in this study as an example of Islamic Law. In terms of forest assets, Nigeria is among the four countries with more than 40 % of the world’s mangrove forests (FAO, 2020a). Nigeria that has lost approximately 96 % of its forest cover and has been on the agenda with the project of planting 25 million trees by young people in recent years (FAO, 2020a; Ngounou 2019). For these reasons, in this study, forest perceptions of Germany, China, Canada, Nigeria and Türkiye are discussed in the triangle of definition, ownership and conservation. International forest governance has made significant progress in recent years (Braatz, 2003). However, differences in legal systems and policies cause some difficulties in advancing towards the common goal of forest sustainability. For this reason, in our study, it is aimed to contribute to the elimination of legal and political difficulties by comparing examples from existing legal systems.

## MATERIALS AND METHODS

The main material of this study is the legal texts about the forest legislation of the countries. As an example of Civil Law, The German Federal Forest Act dated May 2, 1975 was examined. Since the 5<sup>th</sup> article of this law creates a framework for the affiliated states, the Forest Law of the State of Bavaria (Bavarian Forestry Law), which came into force in the same year, is also included in the scope of this study. While carrying out this study, the form of the People’s Republic of China forest law on 1 July, 2020, has been used. Canada’s current forest law has been enacted in 1985. In this study, we used the current version of the laws, including the latest amendments. However, we were able to access the consolidated form of the Nigerian forest law in 1961. The Forest Law of the Republic of Türkiye No. 6831 has been enacted in 1956.

## RESULTS

### General Information on Forest Area of Selected Countries

Among the selected countries, China is leading in terms of both forest area and positive annual forest increase. China ranks first in annual net forest area gains between 2010 and 2020, with 1.9 million hectares per year (FAO, 2020a). Türkiye ranks sixth with 114 thousand hectares, while Germany, Canada and Nigeria are not among the top ten countries. In this context, the amount of forests in the countries determined as the study area also have their own legislation. The areal changes in recent years are given in Table 1.

One of the important situations in Table 1 is that Nigeria, due to its geographical location, is expected

to be especially rich in rainforests, while there is approximately as much forest area as Türkiye. In addition, when the literature is examined, rates ranging from 5 to 90 % are mentioned regarding the amount of forest lost or destroyed in Nigeria in recent years (Vanguard, 2018; Saka-rasaq, 2019; Mangobay, 2021). In terms of climate, only about 10 % of the country's land area is covered with forests, which is below the international average (Saka-rasaq, 2019). For this reason, necessary data are given in Table 2 and Table 3 to find an answer to the question of how much of the forests of the countries determined as the study area are grown naturally and or with plantation.

The sustainability of forest resources is also related to how they are perceived (Birben et al., 2018). In addition to that, the way the policy makers

**Table 1.** Forest areas, amounts and annual change of selected countries (FAO, 2020a)

| Country | Forest Area (1000 ha) |        |        |        | Net Annual Change |       |              |       |              |       |
|---------|-----------------------|--------|--------|--------|-------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|         | 1990                  | 2000   | 2010   | 2020   | 1990–2000         |       | 2000–2010    |       | 2010–2020    |       |
|         |                       |        |        |        | 1000 ha/year      | %     | 1000 ha/year | %     | 1000 ha/year | %     |
| Germany | 11300                 | 11354  | 11409  | 11419  | 5.4               | 0.05  | 5.5          | 0.05  | 1.0          | 0.01  |
| China   | 157141                | 177001 | 200610 | 219978 | 1986.0            | 1.12  | 2360.9       | 1.18  | 1936.8       | 0.88  |
| Canada  | 348273                | 347802 | 347322 | 346928 | -47.1             | -0.01 | -48.0        | -0.01 | -39.4        | -0.01 |
| Nigeria | 26526                 | 24893  | 23260  | 21627  | -163.3            | -0.66 | -163.3       | -0.66 | -163.3       | -0.76 |
| Türkiye | 19783                 | 20148  | 21083  | 22220  | 36.5              | 0.18  | 93.5         | 0.44  | 113.7        | 0.51  |

**Table 2.** The amount of forest area naturally developed and their annual change in selected countries (FAO, 2020a)

| Country | Forest Area (1000 ha) |        |        |        | Net Annual Change |       |              |       |              |       |
|---------|-----------------------|--------|--------|--------|-------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|         | 1990                  | 2000   | 2010   | 2020   | 1990–2000         |       | 2000–2010    |       | 2010–2020    |       |
|         |                       |        |        |        | 1000 ha/year      | %     | 1000 ha/year | %     | 1000 ha/year | %     |
| Germany | 5650                  | 5677   | 5705   | 5710   | 2.7               | 0.05  | 2.8          | 0.05  | 0.5          | 0.01  |
| China   | 112989                | 122170 | 127286 | 135282 | 918.1             | 0.75  | 511.6        | 0.40  | 799.6        | 0.59  |
| Canada  | 343655                | 338416 | 333306 | 328765 | -523.9            | -0.15 | -511.0       | -0.15 | -454.1       | -0.14 |
| Nigeria | 26260                 | 24644  | 23027  | 21411  | -161.6            | -0.66 | -161.7       | -0.70 | -161.6       | -0.75 |
| Türkiye | 19238                 | 19593  | 20461  | 21503  | 35.5              | 0.18  | 86.8         | 0.42  | 104.2        | 0.48  |

**Table 3.** The amount of forest area by planted and their annual change in selected countries (FAO, 2020a)

| Country | Forest Area (1000 ha) |       |       |       | Net Annual Change |       |              |       |              |       |
|---------|-----------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|         | 1990                  | 2000  | 2010  | 2020  | 1990–2000         |       | 2000–2010    |       | 2010–2020    |       |
|         |                       |       |       |       | 1000 ha/year      | %     | 1000 ha/year | %     | 1000 ha/year | %     |
| Germany | 5650                  | 5677  | 5705  | 5710  | 2.70              | 0.05  | 2.80         | 0.05  | 0.50         | 0.01  |
| China   | 44150                 | 54830 | 73324 | 84696 | 1068.0            | 1.95  | 1849.40      | 2.52  | 1137.20      | 1.34  |
| Canada  | 4618                  | 9386  | 14016 | 18163 | 476.80            | 5.08  | 463.00       | 3.30  | 414.70       | 2.28  |
| Nigeria | 265                   | 249   | 233   | 216   | -1.60             | -0.64 | -1.60        | -0.69 | -1.70        | -0.79 |
| Türkiye | 546                   | 556   | 622   | 717   | 1.00              | 0.18  | 6.60         | 1.06  | 9.50         | 1.32  |

manage the available resources is also related to their perception of forest. Because they have the responsibility and authority to ensure the sustainability of these resources. For this reason, in order to understand selected countries' perspective on forests, we examined their forest acts/codes and their measures/penalties against forest crimes.

### **Definition, Ownership and Conservation in Selected Countries**

*The German Federal Forest Act.* The German Federal Forest Act, which serves as a framework for its states, has been in force since 2 May 1975 and consists of 48 articles in total (BMEL, 1975). Article 5 of the act requires federal states to enact their own acts within two years into force, in accordance with existing framework regulations. The Act defines a forest in general, as any area covered with forest vegetation, including all types of storage areas, roads and clearings (BMEL, 1975; FAO, 2020c). Within this framework, federal states have also made their own definitions in their acts. For example, with the 2<sup>nd</sup> article of the Bavarian Forest Law, 22 July 2005, the areas that will be reforested later are also included in the forest (GVBL, 2005).

Within the framework of these definitions, the German Federal Forest Law divides forests into four types as federal, state, common and private forests (BMEL, 1975). The distribution of these areas are as follows 48 % are private forests, 29 % are state forests, 19% are common forests, and 4 % are federal forests (BMEL, 2014). Forest lands in Germany have been around 11.4 million hectares for the last ten years and have been almost stable.

The German Federal Forest Act, Article 9 states that when there is a possibility of felling or conversion of forests, the interests must be compared. This proves what is stated in the second paragraph of the same article, that the natural, cultural and even historical characteristics of forests are taken into account. However, in this act, there is no detailed explanation about forest crimes as in Türkiye, and this issue is mostly considered in state's acts. For example, article 46 of the Bavarian state forest act provides for fine up to twenty-five thousand euros for those who intentionally or negligently damage the forest.

*Forest Law of the People's Republic of China.* China is the country where forestry regulations are seen for the first time in the world (Gumus, 2004). In addition, when we look at the history of this country, especially the radical changes made in the

property regime in 1956 are crucial (Birben, 2011). After extensive deforestation with these changes, China is now one of five countries holding more than half of the world's forests (FAO UNEP, 2020). T. Qin (2021) states that "China has proposed the philosophy of ecological civilization, and regard green development as a new development model to overcome the disadvantages of the black economy". Y. Zhang et al. (2013) examine Chinese forests in 4 periods: Destruction period from 1950 to 1960, extreme exploitation period from 1960 to 1970, restoration period from 1978 to 1990, and sustainable development period from 1990 to the present. This description is consistent with the information in Table 1, above.

Article 83 of the People's Republic of China Forest Law, which entered into force on July 1, 2020, defines forests as "areas designated as forests by the state" and states that they should have 0.2 or more areal cover. In terms of ownership, it is understood that forest resources belong to the state, except for the collective ownership specified in Article 14. It is understood from that in the Forest Law of the People's Republic of China, forests are divided into State-owned and non-State-owned forests. As it might be understood from other articles of the law, all non-state forests are defined as "private forests", but they may belong to a single person or to a collective organization. According to the data, the total forest area of China is approximately 220 million hectares, of which more than 60 % belongs to the state (FAO, 2020b).

In classification according to purpose, the forests of the Chinese Forest Law are divided into 5 parts, 1) forests for protection, 2) for wood production, 3) economic, 4) for fuel, and 5) for special purposes (Chiavari, Lopes, 2017). The penalties in the law for the protection of forests, it is seen that the purpose of the movement is effective in punishment. For example, article 74 of the law orders that trees damaged because of actions aimed by improvement or permitting, to be planted up to 3 times, or fined up to 5 times their value. However, damages caused as a result of illegal acts order trees to be planted up to 5 times their value or to be punished up to 10 times their value, as given in article 76. In addition, in Article 80, fines are ordered for those who hinder the inspection.

*Canadian Forest Act.* There is not an article in Canadian Forest Act that directly defines the forest. Instead, it clarifies that only certain frameworks are drawn in the law and how governments determine these frameworks. But as a forest definition, it uses FAO's criteria, the definition of 0.5 hectares with

at least 5 meters height and 10 % cover (NRCAN, 2021b).

Industries supported by Canadian forests play a crucial role in the life of this nation (Best, 1960). 91.3 % of the country's forests belong to the public (FAO, 2020c). 77 % of these areas belong to the state, 13 % to the territories, and about 2 % to the federal area (NRCAN, 2021b).

The country has naturally classified its forests differently from other countries due to its exceptional climate and geographical location. Canada uses the concept of eco-zones as the broadest classification system. There are 15 terrestrials and 5 marine eco-zones defined. Detailed information for 12 of these eco-regions has been compiled in the National Forest inventory established in cooperation with federal, state and regional governments (NRCAN, 2021a).

Contrary to the other acts, the articles in this law to protect forests from any forest crimes are quite ordinary. A CAN\$500 fine or 6-month imprisonment does not seem to deter forest crimes.

*Nigerian Forest Law.* Nigeria enacted its first official national forest law in 1956, while it was still under British rule (FAO, 2021). The country, which declared its independence by accepting the federal system in 1960, has transitioned to the federal republic administration in 1963 (UCA, 2021). The country, which has been in many political turmoils since its establishment, has become the largest economy of its continent, surpassing South Africa in 2014 (ATO, 2021).

In the Nigerian Forest act, since the forest is divided into many different categories, criteria such as minimum diameter, height and canopy were not directly used in the forest definition. Also, the law is not classified in terms of ownership, unlike other studied countries' forest laws. Instead, it is classified in terms of characteristics as Mangrove Swamp, Lowland Rainforest, Montane Forest, Derived Savanna, Guinea Savanna, Sudan Sahel and Nigerian Forests cover almost only 8 % of the country's total area (FAO, 2020d). Because of these, all types of forests have different definitions.

The country's forest law gives too much initiative and authority to the individual or the administration. The words or minutes by an authorized person are sufficient to prove many issues, from the detection of the protection area to the red-handed arrest. Almost every article of Nigerian Forest law includes what the minister is able to do.

In this study, Nigerian forest law represents an example of Islamic law. The fourth section of the law is a very broad that includes all penalties. In

short, it may be said that definitions and penalties cover almost one third of the law. The fines in this law were also examined in order to be compared with other countries in the study area. These fines range from £50 to £100 (approximately 67 to 135 US\$ on the date of research).

*Turkish Forest Law.* The 1st article of the Forest Law No. 6831 states that "tree and woodland communities, which are grown by human efforts, are regarded as Forest, together with their land". Since 1937, when this definition was enacted, many changes were made in the same article in 1983, 1987, 2003 and 2020, but these amendments were added to the law to indicate non-forest areas.

Article 4 of the forest law classifies forest in terms of ownership and administration, similar to many of the other countries in the study area. It divides forests into 3 as forests belonging to the state, to public legal entities, and private forests.

There are more and especially detailed penal clauses in the law numbered 6831 compared to other laws. Since there are penalties in 24 different articles of the law, this law is stricter and more deterrent than the others. These articles are not as they were on the first day. Many changes have been made by amendments. According to O. D. Elvan (2009), especially the amendments made in the penal clauses with the law No. 5728 are fair. However, despite these changes, fundamental changes have not been made according to the movement patterns of the crimes (Elvan, 2009). Considering the penalties related to the crime, there are also prison sentences and fines up to one hundred thousand Turkish liras (approximately 7338 US\$ on the date of research).

## DISCUSSION

Germany and Canada are among the countries with a very high level of human development in terms of social and economic development, Türkiye and China are among the countries with high human development, and Nigeria is among the countries with low human development level in the same list (As, 2017). With approximately 5 % of the world's forests, China ranks 5<sup>th</sup> among the countries with the most forest assets (FAO, 2020a). In addition, it is in the first place among the countries that have increased the forest area the most in the last 10 years (FAO, 2020a).

In the countries studied, forest definitions differ in terms of law and practice. These differences are effective both in the forest perception reflected by policy makers to the society and in the number of

**Table 4.** FAO global assessment of forest resources, comparison of forest definitions in country reports (FAO, 2020b, c, d; GOC, 2021; Official Gazette, 1956)

|         |   |   |
|---------|---|---|
| Germany | Forest within is any area of ground covered by forest vegetation, irrespective of the information in the cadaster or similar records. The term forest also refers to cutover or thinned areas, forest tracks, firebreaks, temporarily unstocked land and clearings, forest glades, feeding grounds for game, landings, forest aisles, further areas linked to and serving the forest including areas with recreation facilities, overgrown heaths and moorland, overgrown former pastures, alpine pastures and rough pastures, as well as areas of dwarf pines and green alders. Watercourses up to 5 m wide do not break the continuity of a forest area |   |
| China   | Arbor forest  | Forest land composed of arbor species with a canopy cover of more than 20 %   |
|         | Bamboo forest   | Forest land composed of bamboo species with a diameter more than 2 cm   |
|         | Open forest land  | Land composed of arbor species with a canopy cover between 10–19 %  |
|         | Shrub land  | Land composed of shrubs and/or bushes with a canopy cover more than 30 %, of which main purpose is to cultivate shrubs or used for protection   |
|         | Unestablished afforestation land  | Afforestation land that has not been closed but is promising for forest for 3–5 years   |
|         | Nursery land  | Land permanently used for cultivating tree seedlings and saplings   |
|         | Cut-over & fired-over forest land   | Forest land with a canopy cover less than 10 % and within 3 years after clear cut or fire.  |
|         | Forest suitable land  | Land planned for forestry development by county-level or higher-level government  |
|         | Non-forestry land   | All land not classified into forestry land above, includes cultivated land, grassland, water area, unused land and construction land  |
|         | Economic forest   | Forest land composed of economic species, of which main purpose is to produce fruits, cooking oil, drinks, spices, industrial raw materials and medicinal materials   |
| Canada  | National Forest Inventory: Land at least 10 percent occupied (by crown cover) by tree species of any size, including young natural stands and all plantations that have yet to reach the minimum crown density. Temporarily non-stocked areas (e. g., recent harvests, burn scars) expected to revert to forests (as defined) are included. The trees must be capable of reaching a mature height of 5 m in situ Deforestation and afforestation monitoring: 25 % crown closure or greater with the potential to reach tree height of at least 5 m at maturity in situ and covering an area of 1 ha or greater (having a minimum width of 20 m)           |   |
| Nigeria | Mangrove Swamp  | This is the forest and other wooded land in the coastal and Delta areas of Nigeria  |
|         | Lowland Rainforest  | This is an area of dense evergreen forest of tall trees with thick undergrowth consisting of three layers of trees: the emergent layer with trees more than 36 m high; the middle layer between 15–30 m, while the lowest layer is generally below 15 m |
|         | Montane Forest  | These highlands are characterized by grassland vegetation at the base, forest vegetation on the windward slope and grassland vegetation on the plateaus surface   |
|         | Montane Forest  | The flora on the area is peculiar with many species of woody and herbaceous plants not found elsewhere in West Africa and the altitude is about 1200 m  |
|         | Guinea Savanna  | This is characterized by dense populations forest.  |
|         | Sudan Sahel   | This vegetation consists of grasses, open thorn shrub savanna with scattered trees, 4 to 9 m in height most of them are thorny, and extensive sparse grasses  |
| Türkiye | The forest land where tree canopy cover is more than 10 %, trees height at maturity is more than 5 m, mainly established by seed naturally or by human interference   |   |

**Table 5.** Comparison of countries' forest properties, %

| Country | Private | State / territory | Common | Government |
|---------|---------|-------------------|--------|------------|
| Germany | 48      | 29                | 19     | 4          |
| China   | 37      | –                 | –      | 63         |
| Canada  | 8       | 77+13             | –      | 2          |
| Nigeria | –       | –                 | –      | 100        |
| Türkiye | 0.1     | –                 | –      | 99.9       |

forests in the statistics. These definitions are given in Table 4 comparatively.

In addition, the distribution of forest areas of countries is examined in Table 5.

All the studied countries have penal clauses in their laws in order to deter forest crimes. These penalties may generally be limited to fines and imprisonment. The crime and punishment clauses in the laws of the studied countries are compared in Table 6.

**Table 6.** Comparison of crime and punishment articles of studied countries (FAO, 2020b, c, d; GOC, 2021; Official Gazette, 1956)

|  |   |  |
|--|---|--|
| Germany <sup>1</sup>                                       | Clear forests without a permit  | Fine up to twenty-five thousand euros  |
|  | Do not provide information correctly  | Fine up to 10000 euros (approximately 11344 US\$ on the date of research)  |
|  | Do not carry out certain forestry economic measures   |  |
|  | afforest without a permit   |  |
| Let cattle graze in a foreign forest without authorization | Fine up to two 2500 euros (approximately 2836 US\$ on the date of research)                         |  |
| China  | Pirate felling  | Plant more than 100 % and less than five times the number of trees practically felled  |
|  | Forge, alter, buy or sell, and lease timber felling permits   | Fine of more than 100 % and less than three times the amount of price of the permits or documents illegally bought or sold; if there is no illegal income, the offender may be imposed a fine of less than RMB 20000 (approximately 3152 US\$ on the date of research) |
|  | Refuse or obstruct the investigation of competent department of forestry of the people's government | Fine of less than RMB 50 000 (approximately 7882 US\$ on the date of research)   |
| Canada   | Contravene any regulation made under section 6 (cut, protect, prevent)                              | Fine not exceeding five hundred Canadian dollars (approximately 393 US\$ on the date of research) or to imprisonment for a term not exceeding six months or to both  |
| Nigeria  | Alters, remove, destroy or deface any such mark placed on forest                                    | Fine of one hundred pounds (approximately 135 US\$ on the date of research) or imprisonment for two years or to both such fine and imprisonment  |
|  | Take any forest product, uproots, burns strips off the bark or leaves, damages any tree             | Fine of one hundred pounds (approximately 135 US\$ on the date of research) or to imprisonment for twelve months or to both such fine and imprisonment   |
|  | Do any act or thing prohibited in a forest reserve, without the authority in writing                | Fine of fifty pounds (approximately 67 US\$ on the date of research) or to imprisonment for six months or to both such fine  |
| Türkiye  | Illegal cut down trees, uproot, strangle  | Fine of up to one thousand days and up to five years in prison   |
|  | illegal mining  | Judicial fine up to twenty thousand days.  |
|  | grazing without permission  | fine of three liras (approximately 0.25 US\$ on the date of research) for each of the cattle and one lira for each of the small cattle   |
|  | Incorrect cut   | Fine of sixty lira (approximately 4.5 US\$ on the date of research) per tree   |
|  | Cutting, transporting and selling illegal products  | Up to seven years in prison and a judicial fine of up to five thousand days  |

<sup>1</sup> The only penal clause in German forest law is to “do not provide information correctly”. Other fines have been taken from the Bavarian Forest Code.

Article 1 of the Chinese forest law uses the phrase “Lucid waters and lush mountains are invaluable assets” (MEE, 1984). This reflects China’s own culture on nature. In its forest law, China refers to the forest using various adjectives, thus internalizing it. Just as X. Jinping (2017) said, an ecological civilization must be built that is closely linked to the welfare of the people and the future of the nation. In other words, China attaches great importance to forests because of thinking about future generations. A similar perception exists in the forest law of the German state of Bavaria. In this law, forest

is specified as “an important part of the natural basis of life”. In other words, China and Germany see forests as directly sustainable in their forest laws. The first clauses of the forest laws of both states emphasize the effective long-term management of the forest for its recreational benefit.

One of the underlying principles of Chinese law is the “suitability/cost” principle (Yiliyaer, Aliu, 2018). This principle is explained by A. Yiliyaer and A. Aliu (2018) as the preservation of the logical relationship between public and private benefits within the framework of the principle of suitability

by using the discretion of the administration. This logical relationship is effective in the punishment to be imposed on the purpose of the act in many articles of the law. For example, when Article 74 is examined, it is clearly seen that the purpose of punishment is not to harm the person materially or morally, but to protect nature. Because the fine that may be given to the person is many times more than the penalty for planting trees, that is, the person is encouraged to compensate for the damage. From this point of view, it is seen that the Chinese Forest Law is combined with the understanding of encouraging the person as well as the basis of the Chinese Administrative Law.

In the forest laws of Nigeria and Türkiye, punitive terms are common. Especially in Nigeria's forest law, decision-making responsibility rests almost entirely on the civil servant. From this point of view, these two states use punitive forest laws. In Canadian forest law, the penalties for forest crimes are neither monetary nor significant in terms of imprisonment. CAN\$500 (approximately 393 US\$ on the date of research) fine and maximum 6 months prison sentence is very low compared to the laws of other countries; its function is negligible.

Nigeria and Türkiye have clauses in their forest laws on "using" the forest, while other countries encourage "benefiting from" the forest. Indeed, some private forest owners in Europe have awareness of climate change and greenhouse gas emissions (Vehola et al., 2022). This awareness makes it easier to see forests as a natural balance tool as well as a commercial commodity. Germany is among the countries where the commercial purpose is prior to the forest products. Despite this, its forests are stable. This is related to how forests are perceived in that country. The term sustainability is frequently used in many forest laws in Europe. In Türkiye's forest law, this expression is not directly used.

When we look at the forest law of Türkiye in general, it might be said that it defines non-forest areas, instead of forests. Because the purpose of the amendments in the 1<sup>st</sup> article of the law is to point out the non-forest areas. Also, in this law, there is a detailed definition of punishment for almost every crime. Because between articles 91 and 114, that is, almost 1 in 5 of the law, there are penal clauses. In other words, deterrence against forest crime is at the forefront. However, forest crimes are very few in Türkiye, except for personal use.

Among the countries studied, only Germany and China have defined criminal liability of administrations in their forest laws. This situation keeps these countries ahead of other countries in

terms of responsibility. Thus, authorities think twice before using their authority and/or initiative. Giving responsibility to people causes them to think with their conscience, but to increase this (Yiliyaer and Aliu, 2018), one must also think about punishment.

## CONCLUSION

Among the countries under study, the Chinese Forest Law stands out as an example to be emulated by other nations, given the aspects described below. It is advisable that the forest laws of other countries incorporate expressions that can evoke an emotional response from their societies, similar to what is found in the Chinese Forest Law. This approach, which has garnered attention in China since 1990, has played a significant role in the remarkable growth of forests. Consequently, over time, this perception of use will evolve into a perception of benefit. This is important because today's children are the future policymakers. When assigning responsibility to an officer, ensuring that they understand their criminal responsibilities will encourage the official to exercise their authority with caution, similar to the Chinese Forest Law. This, in turn, will help mitigate task-related mistakes.

The objective of penal clauses within the Chinese Forest Law is not primarily punitive but rather aimed at rectifying the wrongdoings of the offender. While it may not be feasible to entirely eliminate penal clauses from the forest laws of other countries, incorporating alternative remedies would shift the law's focus from punishment to environmental protection. Among the countries under study, only China's Forest Law incorporates the purpose of an action into the determination of penalties. Articles 74 and 76 prescribe lower penalties for unintentional damages and higher penalties for deliberate actions. With this perspective in mind, factors such as poverty or hunger should be taken into consideration when people derive benefits from forests, especially in countries like Türkiye, where commercial forest damage is relatively low, but personal benefit is more pronounced.

In contrast, the Canadian Forest Act, serving as an example of Anglo-Saxon law, lacks substantial penalty-related articles due to the abundance of forests. Penalties in this law are not actively enforced, as the sustainability of forests is not yet under threat within its borders. Therefore, it is imperative to conduct a comprehensive analysis in future studies to determine the most rational course of action.

## REFERENCES

- Ahrends A., Hollingsworth P., Beckschäfer P., Chen H., Zomer R., Zhang L., Mingcheng W., Xu J. China's fight to halt tree cover loss // Proc. Royal Soc. B: Biol. Sci. 2017. V. 284. Iss. 1854. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2559>
- As I. Global poverty and non-governmental organisations // *Firat Univ. Int. J. Econ. Adm. Sci.* 2017. V. 1. Iss. 1. P. 31–66.
- ATO. Federal Republic of Nigeria Fact Sheet // Ankara Chamber of Commerce, 2021 <https://www.atonet.org.tr/Uploads/Birimler/Internet/Alt%20Tan%C4%B1t%C4%B1m/2020-08-20-%C3%9Cİke%20Raporlar%C4%B1/Nijerya.pdf>
- Best A. L. The forestry outlook in Canada // *The For. Chron.* 1960. V. 36. Iss. 3. P. 260–264.
- Birben Ü. A Legislative analysis, based upon comparative law, of the legal basis and development of forest ownership and use rights // *Istanbul Univ. Inst. Sci. Technol.*, 2011.
- Birben Ü., Ünal H. E., Karaca A. Examination of the perception of society related to forest resources (Case of Çankırı city center) // *Turkish J. For.* 2018. V. 19. Iss. 1. P. 76–82.
- BMEL. Bundeswaldgesetz1 Seite 1037 vom 7, Mai 1975. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. 1975. <https://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/BWaldG.pdf>
- BMEL. The forests – mainly privately owned. The forests in Germany, selected results of the third national forest inventory // Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Federal Ministry of Food and Agriculture), Germany, 2014. P. 9.
- Braatz S. International forest governance: international forest policy, legal and institutional framework // XII World For. Congr., 2003. <https://www.fao.org/3/xii/1053-c5.htm>
- Chiavari J., Lopes L. Forestland land use policies on private lands: an international comparison Argentina, Brazil, Canada, China, France, Germany and the United States // Climate Policy Initiative. 2017. [https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2017/10/Full\\_Report\\_Forest\\_and\\_Land\\_Use\\_Policies\\_on\\_Private\\_Lands\\_-\\_an\\_International\\_Comparison-1.pdf](https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2017/10/Full_Report_Forest_and_Land_Use_Policies_on_Private_Lands_-_an_International_Comparison-1.pdf)
- Elvan O. D. Evaluation of the changes made in the criminal provisions of Law No. 5728 and Forest Law No. 6831 // II. Congr. Socio-Econ. Probl. For., Isparta, 19–21 Feb., 2009. Isparta: SDU, 2009.
- Erdoğmez C., Yurdakul Erol S. A milestone in terms of historical development of the national forestry policy in Türkiye: Law No. 125 // *J. Bartın Fac. For.* 2021. V. 23. Iss. 1. P. 182–201. <https://doi.org/10.24011/barofd.805525>
- FAO. Global forest resources assessment 2000 main report. FAO For. Paper 140. Rome: FAO UN, 2001.
- FAO. Global forest resources assessment 2010. FAO For. Paper 163. Rome: FAO UN: 2010.
- FAO. Global forest resources assessment 2020: Main rep. Rome: FAO UN, 2020a. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- FAO. Global forests resources assessment 2020 China. Rome: FAO UN, 2020b. <http://www.fao.org/3/ca9980en/ca9980en.pdf>
- FAO. Global forest resources assessment 2020 Germany. Rome: FAO UN, 2020c <https://www.fao.org/3/ca9997en/ca9997en.pdf>
- FAO. Global forest resources assessment 2020 Nigeria. Rome: FAO UN, 2020d. <https://www.fao.org/3/cb0037en/cb0037en.pdf>
- FAO. Nigeria Forest Law. Faolex Database. Rome: FAO UN, 2021. <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC003330>
- FAO. Forestry production and trade. Rome: FAO UN, 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
- FAO, UNEP. The state of the world's forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome: FAO UN, 2020. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
- GOC. Government of Canada Forestry Act Consolidation of Canada. R. S. C., 1985. c. F-30. Version: June 28, 2021.
- Gumus C. Ormancılık Politikası. KTÜ Basımevi, 2004.
- GVBL. Waldgesetz für Bayern (BayWaldG), Fundstelle, 2005. P. 31.
- Imre Z. Introduction to civil law. Second Ed. N. 2194. Fac. Law Publ. 495. İstanbul Univ. Publ., 1976.
- IMF. Report for selected countries and subjects: Oct. 2021. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2021/October/weo-report?c>
- Interpol. Global forestry enforcement // Strengthening law enforcement cooperation against forestry crime. 2019.
- Jinping X. Report at the 19<sup>th</sup> National Congress of CPC. People's Daily online. 2017. <http://cpc.people.com.cn/n1/2017/1028/c64094-29613660.html>
- Kishor N., Damania R. Crime and justice in the Garden of Eden: improving governance and reducing corruption in the forestry sector // *The many faces of corruption*. The World Bank, Washington, DC, 2007.
- Lund H. G. What is a forest? Definitions do make a difference an example from Türkiye // *Euras. Sci. J.* 2014. V. 2. Iss. 1. P. 1–8.
- Mangobay. Deforestation soars in Nigeria's gorilla habitat: 'We are running out of time'. 29 Oct., 2021. <https://news.mongabay.com/2021/10/deforestation-soars-in-nigerias-gorilla-habitat-we-are-running-out-of-time/>
- MEE. Forest Law of the People's Republic of China Ministry of Ecology and Environment The People's Republic of China. 1984. [http://english.mee.gov.cn/Resources/laws/envir\\_elatedlaws/202102/t20210207\\_820735.shtml](http://english.mee.gov.cn/Resources/laws/envir_elatedlaws/202102/t20210207_820735.shtml)
- Mizrak D., Temiz Ö. Law and politics examination of extraordinary periods in Türkiye in the light of literary works // *Ankara Bar Ass. J.* 2009. V. 67. N. 2.
- Ngounou B. NIGERIA: 25 million trees will be planted to absorb CO<sub>2</sub>. Afrik 21.2019. <https://www.afrik21.africa/en/nigeria-25-million-trees-will-be-planted-to-absorb-co2/>
- NRCAN. Forest classification of government of Canada. 2021a. <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/measuring-and-reporting/forest-classification/13179#ecozones>
- NRCAN. How much forest does Canada have? 2021b. <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests-forestry/state-canadas-forests-report/how-much-forest-does-canada-have/17601>
- Official Gazette. Law No: 6831 Forest Act (1956, 8 Sept.). Official Gazette (No: 9402) 1956. <https://www.resmigazete.gov.tr/arxiv/9402.pdf>
- Qin T. The evolution and challenges in China's implementation of the Convention on Biological Diversity: a new analytical framework // *Int. Environ. Agreem.: Politics, Law and Economics.* 2021. V. 21. P. 347–365.
- Saka-rasaq O. Forest loss in Nigeria, the impact on climate and people from the perspectives of illegal forest activities and government Negligence. Novia Univ., 2019.

- [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/170981/Forest\\_Loss\\_Nigeria\\_Owolabi\\_2019\\_DSCM\\_Thesis.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/170981/Forest_Loss_Nigeria_Owolabi_2019_DSCM_Thesis.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- UCA. Nigeria (1960-present). Univ. Central Arkansas Dep. Polit. Sci. 2021. <https://uca.edu/politicalscience/dadm-project/sub-saharan-africa-region/nigeria-1960-present/Vanguard>. Deforestation: Nigeria has lost 96 % of its forest. 3, Sept., 2018. <https://www.vanguardngr.com/2018/09/deforestation-nigeria-has-lost-96-of-its-forest-ncf-2/>
- Vehola A., Malkamäki A., Kosenius A., Hurmekoski E., Toppinen A. Risk perception and political leaning explain the preferences of non-industrial private landowners for alternative climate change mitigation strategies in Finnish forests // Environ. Sci. & Policy. 2022. V. 137. P. 228–238.
- Yiliyaer A., Aliu A. Contemporary administrative law principles in People's Republic of China. // J. Turkish Justice Acad. 2018. V. 35. P. 641–664.
- Zhang Y., Qin Q., Fan J., Chen K. Comparative analysis of forest conservation and sustainable forest management in China and Germany // Asian Agr. Res. 2013. V. 5. N. 10. P. 117–124.

## ЛЕС В СРАВНИТЕЛЬНОМ ПРАВЕ: ГЕРМАНИЯ, КИТАЙСКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА, КАНАДА, НИГЕРИЯ, ТУРЦИЯ

Х. Калискан<sup>1</sup>, Ю. Бирбен<sup>2</sup>, С. Озден<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Университет Чанкири Каратекин, Высшая школа естественных и прикладных наук  
15 Бульвар Теммуз Шехитлери, 10, Йени Махалле, Чанкири, 18200 Турция

<sup>2</sup> Университет Чанкири Каратекин, факультет лесного хозяйства  
Бадемлик, 8, Йени Махалле, Чанкири, 18200 Турция

E-mail: hcaliskanphd@gmail.com, birben@karatekin.edu.tr, sozden26@gmail.com

За последнее десятилетие во многих странах мира достигнут значительный прогресс в управлении лесными ресурсами. Вместе с тем, различия в правовых системах и лесной политике создают определенные трудности на пути достижения общей цели – устойчивого управления лесами в глобальном аспекте. Цель данного исследования – анализ устойчивого использования лесных ресурсов путем сравнения законодательства в различных правовых системах для получения примеров надлежащего управления и лесохозяйственных практик. В статье обсуждаются романо-германское (гражданское), англосаксонское, исламское и социалистическое лесные законодательства на примере правовых систем, применяемых в Германии, Канаде, Нигерии, Китайской Народной Республике и Турции. Лесные законы анализируются и обсуждаются на предмет определения понятия леса, типов собственности и вопросов лесозащиты. Сделан вывод, что различные правовые системы оказывают важное влияние на восприятие леса и площадь лесов. Подход к устойчивому развитию, закрепленный в Законе о лесах Китая, оказывает более положительное воздействие на леса по сравнению с законами других сравниваемых стран. Такое восприятие лесного законодательства может способствовать улучшению управления лесами и стать лучшим примером для остального мира.

**Ключевые слова:** лесное право, восприятие леса, правовые системы, национальная точка зрения, устойчивость.

Çalışkan H., Birben Ü., Özden S. Forest in comparative law: Germany, People's Republic of China, Canada, Nigeria, and Türkiye (Калискан Х., Бирбен Ю., Озден С. Лес в сравнительном праве: Германия, Китайская Народная Республика, Канада, Нигерия, Турция) // Сибирский лесной журнал. 2024. № 2. С. 103–112 (на английском языке, реферат на русском)

## CONTENTS

### RESEARCH ARTICLES

|  |     |
|--|-----|
| <i>L. V. Karpenko</i><br>Permafrost-Hilly Swamp Complexes of the Northern Taiga of the Yenisei Siberia .....   | 3   |
| <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 .....  | 15  |
| <i>S. K. Farber, V. V. Soldatov, N. S. Kuzmik</i><br>Determination of Damage to Forest Ecosystems Disturbed by Siberian Silk Moth .....  | 21  |
| <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 in the Koibal Steppe of the Republic of Khakassia .....  | 34  |
| <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 of Winter Dor-mancy in the Conditions of the High-Altitude Zone of the Western Sayan ..... | 41  |
| <i>A. V. Gireva, O. M. Shabalina, D. Yu. Pavlova</i><br>Variability of Morphometric Characteristics of Siberian Fir Shoot by Absolute Height Gradient in the National Park «Krasnoyarskie Stolby» .....  | 50  |
| <i>A. P. Kovalev, E. V. Lashina</i><br>Criteria for the Sustainability of Tree Stands During Timber Harvesting in Mature and Overmature Stands .....   | 59  |
| <i>I. S. Tsepordey</i><br>An Increase of the Foliage Share in Shoot Phytomass Along the Latitudinal Gradient as a Compensatory Reaction of Scots pine to a Decrease in the Sum of Effective Temperatures .....   | 68  |
| <i>Yu. B. Glazunov, G. A. Polyakova, S. A. Korotkov, D. V. Lezhnev</i><br>Natural Reforestation in Clearcut Area in Serebryanoborsky Experimental Forestry .....   | 74  |
| <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 in St. Petersburg .....   | 84  |
| <i>H. Çalıřkan, Ü. Birben, S. Özden</i><br>Forest in Comparative Law: Germany, People's Republic of China, Canada, Nigeria, and Türkiye .....  | 103 |

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Л. В. Карпенко</i><br>Мерзлотно-бугристые болотные комплексы северной тайги Приенисейской Сибири .....   | 3   |
| <i>Т. Т. Ефремова, С. П. Ефремов, А. Ф. Аврова</i><br>Окислительно-восстановительные условия торфяных почв осушенных болотных сосняков Западной Сибири .....  | 15  |
| <i>С. К. Фарбер, В. В. Солдатов, Н. С. Кузьмик</i><br>Определение ущерба лесным экосистемам при поражения сибирским шелкопрядом .....   | 21  |
| <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 в Койбальской степи Республики Хакасия .....                                  | 34  |
| <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 из состояния зимнего покоя в условиях высотной поясности Западного Саяна ..... | 41  |
| <i>А. В. Гирева, О. М. Шабалина, Д. Ю. Павлова</i><br>Изменчивость морфометрических признаков побега пихты сибирской по градиенту абсолютной высоты в национальном парке «Красноярские Столбы» .....  | 50  |
| <i>А. П. Ковалев, Е. В. Лашина</i><br>Критерии устойчивости древостоев при заготовке древесины в спелых и перестойных насаждениях .....   | 59  |
| <i>И. С. Цепордей</i><br>Увеличение охвоенности побегов в широтном градиенте как компенсаторная реакция сосны обыкновенной на снижение суммы эффективных температур .....   | 68  |
| <i>Ю. Б. Глазунов, Г. А. Полякова, С. А. Коротков, Д. В. Лежнев</i><br>Естественное возобновление на вырубках в Серебряноборском опытном лесничестве .....  | 74  |
| <i>Г. А. Фирсов, К. Г. Ткаченко, А. В. Волчанская, И. В. Фадеева</i><br>Влияние короткопериодных колебаний климата на репродуктивные способности древесных растений в Санкт-Петербурге .....  | 84  |
| <i>Н. Çalışkan, Ü. Birben, S. Özden</i><br>Forest in Comparative Law: Germany, People's Republic of China, Canada, Nigeria, and Türkiye .....   | 103 |