

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

ISSN 2311-1410

Сибирский лесной журнал

Номер 6
Ноябрь–Декабрь 2022



ФГБУ «Сибирское отделение
Российской академии наук»
Новосибирск

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

SIBERIAN JOURNAL OF FOREST SCIENCE

Number 6 November–December 2022

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), Vera E. Benkova (RF), Kapitolina S. Bobkova (RF), Jiquan Chen (USA), Tumen N. Chimitdorziev (RF), Chimidnyam Dorjsuren (Mongolia), Chultem Dugarjav (Mongolia), Alexey A. Dymov (RF), Steve Eubanks (USA), Svetlana Yu. Evgrafova (RF), Sergey N. Goroshkevich (RF), Irina D. Grodnitskaya (RF), Andrei N. Gromtsev (RF), Georg Guggenberger (Germany), Alexander P. Isaev (RF), Galina A. Ivanova (RF), Vladislav N. Kalaev (RF), Olga V. Kalugina (RF), Vyacheslav I. Kharuk (RF), Alexander V. Kirdyanov (RF), Natal'ya I. Kirichenko (RF), Grigoriy B. Kofman (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), Valery P. Putenikhin (RF), Olga A. Shapchenkova (RF), Dmitriy G. Schepaschenko (RF, Austria), Christiane Schmullius (Germany), Olga V. Shergina (RF), Alexander S. Shishikin (RF), Svetlana D. Shlotgauer (RF), Anatoly Z. Shvidenko (RF, Austria), Vladimir A. Sokolov (RF), 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. Usoltshev (RF), Eugene A. Vaganov (RF), Viktor I. Voronin (RF), Chuankuan Wang (China), Adam X. Wei (Canada), Vasily T. Yarnishko (RF)

Leading Editor

Tatyana A. Nikitina

Scientific Editor

Kseniya A. Kryukova

Technical Editor

Tatyana R. Pantyukhina

Address for journal office:

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

Novosibirsk

Siberian Branch of the Russian Academy of Science

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

СИБИРСКИЙ ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

№ 6 2022 Ноябрь – Декабрь

Научный журнал. Издается с января 2014 г.

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

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

Главный редактор
А. А. Онучин

Редакционная коллегия:

Г. Ф. Антонова (РФ), Н. Е. Антонова (РФ), С. П. Арефьев (РФ), С. Аян (Турция), В. Ф. Багинский (Беларусь),
Е. В. Банаев (РФ), Ю. Н. Баранчиков (РФ), К. Баррет (Великобритания), С. А. Барталев (РФ), С. М. Бебия (Абхазия),
В. Е. Бенкова (РФ), К. С. Бобкова (РФ), Е. А. Ваганов (РФ), Ч. Ван (Китай), А. Х. Вен (Канада), В. И. Воронин (РФ),
С. Н. Горошкевич (РФ), И. Д. Гродницкая (РФ), А. Н. Громцев (РФ), Г. Гуттенбергер (Германия),
И. М. Данилин (зам. главного редактора, РФ), Ч. Доржсүрэн (Монголия), Ч. Дутаржав (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), Г. Б. Кофман (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), Т. А. Никитина (ведущий редактор, РФ),
С. В. Осипов (РФ), И. Н. Павлов (РФ), Х. Пелтола (Финляндия), А. В. Пименов (РФ), В. Пихлер (Словакия),
А. С. Прокушкин (РФ), В. П. Путенихин (РФ), Т. С. Седельникова (зам. главного редактора, РФ),
Л. Н. Скрипальщикова (отв. секретарь, РФ), В. А. Соколов (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. Усеня (Беларусь),
В. А. Усольцев (РФ), В. И. Харук (РФ), Д. Чен (США), Т. Н. Чимитдоржиев (РФ), О. А. Шапченкова (РФ),
А. З. Швиденко (РФ, Австрия), О. В. Шергина (РФ), А. С. Шипикин (РФ), С. Д. Шлотгауз (РФ), К. Шмюллер (Германия),
Д. Г. Щепашенко (РФ, Австрия), С. Юбанкс (США), 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: sibirskiiylesnoyjournal.pf.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», 2022
© Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН), 2022



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 Минобрнауки РФ, 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: sibirskii-lesnoy-jurnal.rf, 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 22.11.2022. Выход в свет 30.12.2022. Бумага типографская. Формат 60 × 84 1/8

Усл. печ. л. 11.4. Уч.-изд. л. 10.2. Тираж 100 экз. Заказ № 365. 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 630*3(571.6)

ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ В ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

А. П. Ковалев, Т. Г. Качанова

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

E-mail: a.p.kovalev51@mail.ru, kachanjva@mail.ru

Поступила в редакцию 11.05.2022 г.

В соответствии нормативными документами организация и проведение заготовки древесины должны осуществляться способами и приемами, обеспечивающими максимальное сохранение лесной среды, способствующими воспроизводству ценных лесов в минимально короткие сроки, повышению их защитно-охранных функций. Это особенно актуально для хвойно-широколиственных лесов Дальнего Востока, представляющих собой уникальную формацию, включающую кедрово- и черно-пихтово-широколиственные, елово-широколиственные, твердо- и мягколиственные субформации. Эти леса характеризуются очень сложным строением полога. В состав входят, как правило, 10–20 древесных пород, различающихся по своей биологии и росту, что создает ясно выраженную вертикальную сомкнутость древостоя. Наличие в насаждениях эндемичных и запрещенных к рубке пород, а также лиан и кустарников, занесенных в Красную книгу РФ (2008) требует особого подхода к способам и технологиям заготовки древесины. Исследования показали, что в формации хвойно-широколиственных лесов преимущественное применение должны найти выборочные способы рубок и технологии лесосечных работ, позволяющие не только сохранять подрост и тонкомер ценных пород, но и обеспечивать формирование послерубочного насаждения, близкого к исходному типу леса. Отсюда вытекают весьма важные выводы по организации заготовки древесины только определенными типами машин и механизмов по узкопосечной технологии, что подтверждается нашими исследованиями.

Ключевые слова: *кедрово-широколиственные леса, узкопосечная технология лесозаготовок, ранжирование машин и механизмов, Приморский край, Хабаровский край.*

DOI: 10.15372/SJFS20220601

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время формация хвойно-широколиственных лесов (ХШЛ) на Дальнем Востоке занимает около 26.0 млн га и включает в себя несколько субформаций, различающихся лишь преобладающей породой, остальные показатели (лесорастительные условия, породный состав, выполняемые функции и т. д.) очень близкие. Образование новых субформаций хорошо заметно на примере кедрово-широколиственных лесов (КШЛ), пройденных условно-сплошными и подневольными-выборочными рубками, коренным

образом изменивших их облик. Как правило, они сопровождались не только утратой кедром эдификаторной роли в оставшейся части древостоя, но и приводили насаждение в изреженное состояние, близкое к редине и повышению на 1–2 класса пожарной опасности. На месте КШЛ образовались елово-широколиственные, кленово-липовые, ясеневые-ильмовые, желто- и белоберезовые и другие субформации. Территории с преобладанием кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.) сократились практически на 50–60 %, а по запасу уменьшились на 60–80 % (Современное состояние..., 2009).

Ведение лесного хозяйства в новых субформациях уже не учитывает нормативы, распространяемые на кедрово-широколиственные леса, и заготовка древесины осуществляется как в простых ельниках, березняках, ясеновниках. В то же время сложное строение полога ХШЛ и наличие в насаждениях запрещенных к рубке пород требует тщательного подхода к выбору методов и приемов рубок. Конечно, восстановление насаждений с преобладанием кедра корейского в границах его естественного ареала, является одной из основных задач лесоводов региона, поскольку данная порода обеспечивает кормовую базу практически всему животному миру в этих лесах и обладает ценной древесиной.

Наряду со способами рубок в процессе заготовки древесины основную роль играют лесосечные работы: валка деревьев, обрубка сучьев, трелевка древесины, очистка лесосек, поскольку непосредственно взаимодействуют с насаждением. Уровень технико-технологического соответствия их лесоводственно-экологическим требованиям к рубке леса определяет направление и динамику лесовозобновления на пройденных рубкой участках, степень выполнения лесом охранно-защитных функций. И если системы и способы рубок принципиально не изменяются в течение многих десятилетий, за исключением отдельных их организационно-технических параметров, то технологии лесосечных работ постоянно трансформируются по мере поступления новой техники и уточнения лесоводственно-экологических требований к заготовке древесины (Разработка..., 1961; Лесоводственная оценка..., 1977; Современное состояние..., 2009).

Цель настоящей работы – дать лесоводственно-экологическую оценку технологическим вариантам лесосечных работ, применяемым при заготовке древесины в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока и выявить наиболее оптимальные технологии для проведения рубок в сложных многопородных насаждениях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все исследования выполнялись преимущественно в предгорьях Среднего Сихотэ-Алиня в Чугуевском, Дальнереченском, Анучинском районах Приморского края и в районе им. Лазо Хабаровского края.

В качестве исходных данных при выполнении работ использовались действующие нормативные документы по лесопользованию (Лес-

ной кодекс РФ, 2006, Правила..., 2020; и др.), фондовые материалы по проведению рубок в кедровниках и хвойно-широколиственных лесах, данные ревизии постоянных пробных площадей, заложенных в местах рубок, и опытно-производственные разработки лесосек. По каждой технологической схеме предусматривались от 3 до 15 повторностей на площади опытных рубок от 14 до 144 га. Учет древостоя и подраста осуществлялся на пробных площадях и площадках. При выполнении исследований использовались традиционные лесоводственные методы для оценки воздействия лесосечных операций на компоненты лесных биоценозов (Цымек, 1956; Стариков, 1957; Манько, Журавков, 1965; Соловьев, Чумин, 1965; Манько, Ворошилов, 1969; Руководство..., 2003).

Наличие в насаждениях эндемичных и запрещенных к рубке пород, таких как бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), диморфант семилопастный (*Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz.), кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), пихта цельнолистная (*Abies holophylla* Maxim.), сосна погребальная (*Pinus funebris* Kom.), тис остроколючный (*Taxus cuspidata* Siebold et Zucc. ex Endl.), дуб зубчатый (*Quercus dentata* Thunb.) и др., а также лиан и кустарников, занесенных в Красную книгу РФ (2008) требуют особого подхода к способам и технологиям заготовки древесины.

Учитывалось также, что естественный ареал распространения кедра корейского является преимущественным ареалом амурского тигра (*Panthera tigris tigris* Temminck.), и Россия несет ответственность за его сохранение и обеспечение условий обитания (Стратегия..., 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе технологического развития лесозаготовительной промышленности на заготовке древесины использовались поперечные пилы и лошади. Деревья валились в сторону естественного наклона и непосредственно у пня раскряжевывались на нужные по длине бревна, а далее самокатом или с помощью гужевого транспорта доставлялись к месту дальнейшего использования.

Лесозаготовки осуществлялись только в зимний период. Лесосеки обычно располагались по берегам рек, используемых для сплава на расстоянии, не превышающем 2–3 км от уреза воды. Рубка леса проводилась без каких-

либо ограничений и подготовительных работ. Вырубались лучшие, здоровые деревья, преимущественно кедр корейского. Из сваленного дерева использовались лишь 1–2 наиболее лучших бревна длиной 3–6 м, остальное бросалось на месте вырубki (Стариков, 1957). Для транспортировки леса прокладывались одна–три санные дороги, соединяющие лесосеку и конечный пункт доставки. Грузовые бревнами сани въезжали на эти дороги от места погрузки по кратчайшему расстоянию, с маневрами между деревьями и пнями. Такими рубками пройдены почти все пойменные и предгорные кедрово-широколиственные леса.

В дальнейшем, в связи с запретом рубок в прибрежной полосе и с удалением эксплуатационных лесосек от сплавных и железнодорожных магистралей стали использовать конно-ледяные, конно-декавильные, поливные и снежно-уплотненные пути.

По мере поступления тракторов для трелевки древесины и бензомоторных пил для валки деревьев на Дальний Восток, начиная с конца 40-х годов XX столетия, лесозаготовки стали проводиться на удаленных участках в горных кедровниках. В этот период возникла проблема упорядочения передвижения трелевочников по лесосеке для сохранения молодых деревьев и подроста. Во многих регионах страны были разработаны узкопосечные технологии лесосечных работ: сурекская, скородумская, карельская, костромская, удмуртская (Разработка..., 1961; Сажин, 1961; Петров, 1965; Побединский и др., 1965; Анисимов, 1966). Все они довольно успешно сочетают лесоводственные и лесоэксплуатационные интересы, обеспечивая хорошую сохранность подроста предварительной генерации, щадяще воздействуют на лесную среду, способствуют рациональному использованию трудозатрат и средств на лесозаготовках.

Широкое распространение, со своей спецификой, различные модификации узкопосечной технологии получили в дальневосточных кедрово-широколиственных лесах. К. П. Соловьев и Г. К. Золотухин (1955) обосновали, что основой рационального использования и воспроизводства кедровников являются несплошные рубки узкими параллельными лентами шириной 30–40 м с трелевкой хлыстов за вершину. С 60-х годов XX в. начала внедряться Приморская технология, обеспечивающая 60 % сохранности подроста и молодняка на лесосеках в кедрово-широколиственных лесах (Ляшенко и др., 1964). Она предусматривала разбивку лесосеки

на пасеки шириной, равной полуторной – двойной средней высоте древостоя; валку деревьев бензопилами вершиной на волок в направлении трелевки; трелевку трактором за вершину с перемещением строго по волоку. Организация работ по этой технологии позволяла сохранять до 80 % подроста при зимних и 60–65 % при летних лесозаготовках (Алексеев, Ковалев, 2018). В кедровниках, где рубились преимущественно крупные деревья кедр корейского, пихты цельнолистной (*Abies holophylla* Maxim.), ели аянской (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Cartiere), ясеня маньчжурского (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), интенсивность выборки достигала 40–80 %, повреждаемость оставшихся деревьев составляла в среднем 20 %, а подрост – 30 %. Преобладали повреждения с ошмыгом ствола и кроны. Более высокая сохранность подроста при зимних лесозаготовках объяснялась не только защитным влиянием снежного покрова, но и незначительным травмированием его корневой системы в результате слабой деформации промерзших горизонтов почвы. При летних лесозаготовках минерализация почвы на полупасеках не превышала 5–10 %, а смещение подстилки и ее перемешивание с гумусовым горизонтом достигало 20–25 %. Развития эрозийных процессов на пасеках и пасечных волоках не отмечалось. Линейная эрозия иногда наблюдается в нижней части магистрального волока с уклоном свыше 10° и протяженностью более 500 м.

Наши обследования состояния древостоев и лесовосстановления и данные пробных площадей, заложенных в кедровниках Среднего Сихотэ-Алиня с давностью рубки 15–30 лет показали, что наблюдаются существенные изменения как в составе древостоя, так и в возобновлении ценных древесных пород (табл. 1).

Состав пород в насаждениях на исследуемых участках колебался от 0.5 до 8 ед. Состав подрост был близок к составу древостоя с некоторым увеличением в сторону лиственных пород.

При проведении первого этапа рубок в кедровниках отмечено снижение доли кедр и ели в составе древостоев и увеличение лиственных пород. Менее заметно это в естественном возобновлении под пологом леса. Здесь колебания подрост минимальные – не более чем на 1–1.5 ед. Доля кедр в возобновлении изменялась незначительно. Сохраняются тенденции восстановления кедрово-широколиственных лесов с преобладанием хвойных пород, хотя в составе насаждения преобладание кедр утрачено.

Таблица 1. Лесоводственно-экологические показатели последствий применения различных технологий лесосечных работ при выборочных рубках в ХПЛ

Техника и технология лесосечных работ	$\frac{\text{Площадь учета, га}}{\text{число повторностей}}$	Число подростов до рубки, тыс. шт./га	Сохранность				Повреждаемость почвы			
			подроста		не подлежащих рубке деревьев		общая		минерализовано	
			%							
			зимой	летом	зимой	летом	зимой	летом	зимой	летом
Бензопила + ТТ-4, узкопасечная, за вершину	$\frac{21}{3}$	7.0–12.0	78.3–80.3	63.8–68.9	55.6–61.1	60.1–66.8	15.8–22.0	29.4–37.1	1.8–5.4	5.2–8.9
Бензопила + СКУ МЛ-43, узкопасечная	$\frac{62}{4}$	6.5–13.5	–	66.8–67.1	–	50.0–56.2	–	50.2–59.1	–	4.3–5.7
Харвестер + форвардер – Т-1210 и 1010, извилистыми ходами	$\frac{144}{15}$	5.0–16.5	72.4–80.0	65.1–70.2	62.3–69.7	59.2–65.0	22.1–24.6	31.2–33.1	0.9–2.7	5.1–8.0
ВПМ + БТМ	$\frac{28}{12}$	11.0–19.0	21.2–27.2	10.4–27.0	25.8–28.5	13.2–25.5	30.1–36.0	62.2–78.9	19.0–23.4	36.4–47.2
Бензопила + вертолет Ми-8МТ	$\frac{14}{2}$	8.0–13.0	–	81.3–86.1	–	79.0–84.1	–	16.6–21.2	–	0.4–1.1

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

После второго приема рубок, проведенных уже при запрете рубок в кедровниках, наблюдается более интенсивная вырубка ели, ясеня, дуба (*Quercus* L.), липы (*Tilia* L.) и др. древесных пород. В составе снова увеличилась доля кедра, на отдельных участках он стал преобладающим. В возобновлении сохранилась прежняя тенденция – примерно одинаковая сохранность встречающихся пород. В целом при соблюдении параметров узкопасечной технологии, воспроизводство кедрово-широколиственных лесов протекает успешно, хотя и с удлинённым циклом воспроизводства для кедра.

Менее эффективной и более затратной в этот период оказалось применение канатной трелевки древесины с крутых склонов, на долю которых приходится около трети всех запасов древесины в лесном фонде Дальнего Востока (Бараников, Науменко, 1957; Ковалев, 1985, 2010). Лесоводственно-экологическую эффективность использования канатной трелевки древесины при различных способах рубок можно рассмотреть на примере проведенных опытно-производственных разработок лесосек в Коппинском участковом лесничестве Советского лесничества (табл. 2). Рубки проводились в елово-шиштовых лесах на склонах различных экспозиций крутизной 25–30° на базе самоходной канатной установки МЛ-43. Возобновление под пологом насаждений в большинстве случаев протекало успешно – на 1 га насчитывалось от 6 до 15 тыс. шт. подроста хвойных пород.

При рубках испытаны две технологические схемы лесосечных работ с разбивкой лесосек на секторы и параллельные полосы. Выборочные рубки интенсивностью 40, 50 и 60 % проводились узкими параллельными пасаками.

При секторной трелевке валка деревьев бензomotorной пилой осуществлялась вершиной к подножию склона на всей площади деляны. При пасечной технологии сначала прорубались волоки шириной 5 м вверх по склону на расстояние трелевки. В зависимости от средней высоты древостоя расстояние между волоками колебалось от 25 до 40 м.

На волоках деревья валили вершиной вниз вдоль оси волока; на полупасаках – вершиной на волок, под углом до 35° к трелевочной трассе. Установка монтировалась внизу склона.

Трелевка по обоим вариантам проводилась хлыстами или деревьями с кроной полуподвесным способом вершиной вперед. При параллельном расположении трелевочных трасс

Таблица 2. Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений, пройденных рубками с использованием харвестеров и форвардеров в Хехирском лесничестве Хабаровского края

Номер опытного участка	Тип леса, способ рубки	Применяемая технология и машины	Состав насаждения	Число стволов, шт./га	Средние		Плотность	Запас, м ³ /га	Интенсивность, %	Число подроста по группам высот, тыс.шт./га			Состав возобновления	Сохранность подроста на вырубке, %
					диаметр, см	высота, м				до 50 см	51–150 см	151 см и выше		
1	Ельник мелкостволово-зеленомошный, сплошно-лесосечный	Прямолинейными ходами Тимберджек 1270, 1010	5.3Е 4.7П 5.1Е 4.9П	868 29	15.5 11.5	14.0 11.5	0.5 –	127.0 2.5	–	7.5 5.5	2.6 1.6	1.5 0.8	6.6Е 3.4П 6.0Е 4.0П	68
2	Ельник мелко-папоротниково-зеленомошный, постепенный	Извилистыми ходами, бензопила «Урал» Тимберджек 1010	4.5П 4.4Е 0.8Бп 0.1Ил 0.1К 0.1Я ед. Ив, Яб 5.5П 2.3Е 1.4 Бп 0.2К 0.2Я 0.2Ил 0.1Ив 0.1Яб	652 420	18.9 15.9	16.8 14.8	0.6 0.3	165 69	58	1.7 0.9	0.8 0.8	0.7 0.5	5.3П 2.2Е 1.0Я 0.6К 0.6Чм 0.3Бж 4.1П 2.3Е 0.9Я 0.9Чм 0.5Бп 0.5Ич 0.4Яб 0.4Км	69
3	Ельник мелкостволово-зеленомошный, выборочный	Извилистыми ходами, Тимберджек 1270, 1010	7.9Е 2.1П 7.2Е 2.8П	1512 1072	19.2 16.8	14.8 13.6	0.9 0.5	358 212	38	11.9 10.2	2.4 1.2	2.3 1.5	5.4Е 4.6П 5.5Е 4.5П	72
4	Осинник с липой и дубом, выборочный	То же	7.3Ос 1.2К 0.3П 0.2Е 0.2Я 0.4Км 0.4Ор ед. Лп, Ол 6.8Ос 1.5К 0.3П 0.2Е 0.3Я 0.4Км 0.2Ор 0.3Лп ед. Ол	670 520	20.9 20.5	19.6 19.5	0.6 0.5	181 128	29	0.01 0.01	0.01 0.01	0.4 0.3	2Бп 2Лп 2Я 2Км 1Ос 0.5К 0.5П ед. Ор	90
5	Ельник разностволово-мелкопапоротниковый, выборочный	»	5.3П 2.9Е 1.1К 0.7Бж ед. Бп, Лп, Я 4.7П 3.3Е 1.7К 0.2Бж 0.1Бп ед. Лп, Я, Ол	1070 850	14.9 13.5	15.0 14.1	0.7 0.5	168 100	40	2.8 2.2	1.5 1.1	0.7 0.5	5П 4Е 1К 4П 4Е 2К	48

Примечание. В числителе – до рубки древостой, в знаменателе – после рубки. Цифра в составе насаждения – количественная доля пород деревьев, образующих древостой. Е – ель, П – пихта, Бп – береза плосколистная (*Betula platyphylla Sukaczew*), Ил – ильм (*Ulmus L.*), К – кедр, Я – ясень, Ив – ива (*Salix L.*), Яб – яблоня (*Malus P. Mill.*), Ос – осина (*Populus tremula L.*), Км – клен мелколистный (*Acer mono Maxim.*), Ор – орех (*Juglans L.*), Лп – липа, Ол – ольха (*Alnus Mill.*), Бж – береза желтая (*Betula costata Trautv.*), Чм – черемуха Маака (*Prunus maackii Rupr.*).

после разработки пасеки тягово-несущий канат демонтировался и снова поднимался на лесосеку при переходе на новую стоянку. При секторной трелевке перенос каната в пределах сектора осуществлялся без демонтажных работ. Производительность канатной установки на трелевке древесины достигала 44–58 м³ в смену при сплошных рубках и 36–47 м³ при выборочных со средним объемом хлыста 0.4–0.6 м³.

Послерубочное обследование лесосек показало, что наибольшие изменения на вырубке происходят при секторном способе трелевки. Сохранность подроста при этом не превышает 20 %, он сохраняется лишь на небольших участках в верхней части сектора и на узкой прерывистой полосе шириной 3 м, проходящей между рядом расположенными секторами. Тонкомер не сохраняется вовсе – все деревья диаметром на высоте груди до 16 см оказались наклоненными или сломанными при валке-трелевке. Повреждения поверхности почвы охватывают 90 % площади вырубки. Преобладают участки с рыхлением и перемешиванием подстилки и верхнего горизонта почвы. На минерализованную часть вырубки приходится 5–16 %. Порубочные остатки, сосредоточенные на волоке (обломанные вершины, сучья и тонкомер), вполне надежно защищают почву от минерализации поверхности, а в будущем и от эрозии.

При ленточной технологии лесосечных работ сохранность подроста колебалась от 48 до 65 %. Подрост полностью уничтожается на волоках и в местах падения деревьев. Сохранность тонкомера на вырубке не превышала 40 %, но и у этих деревьев имелись повреждения в виде ошмыга ствола и кроны. Минерализация почвы на лесосеке составляет 2–4 %, а общая повреждаемость ее поверхности достигает 50 %.

При выборочных рубках интенсивностью 40, 50 и 60 % наблюдается фактическое увеличение интенсивности рубки соответственно на 10, 12 и 19 % за счет спиливания деревьев, мешающих валке, а также уничтоженных при валке-трелевке. Около 10–20 % оставшихся стволов имели различную степень повреждений: ошмыг кроны, обдир коры, слом вершины и др. Сохранность подроста в зависимости от интенсивности рубки составила соответственно 76, 69 и 59 % от общего количества имевшегося под пологом насаждения.

В целом канатная трелевка древесины в лесах Дальнего Востока может найти ограниченное применение, особенно в хвойно-широко-

лиственных насаждениях, имеющих в составе большое количество запрещенных к рубке пород.

В 1970-х годах, с появлением на лесосеках новых многооперационных лесозаготовительных машин, полностью заменивших ручной труд в лесу и обеспечивающих более высокий уровень производительности труда, сделана попытка их применения в хвойно-широколиственных лесах. Основная сложность в использовании агрегатной техники заключалась в том, что машины были разработаны без надлежащего учета экологических и лесоводственных требований к организации и проведению лесозаготовок. В результате этой технологии, на которые преимущественно ориентирована высокопроизводительная работа комплекса валочно-пакетирующих (ВПМ), валочно-трелевочных (ВТМ) и бесчokerных трелевочных машин (БТМ), по лесоводственным соображениям не могли быть рекомендованы в хвойно-широколиственных насаждениях с большим количеством в составе эндемичных и запрещенных к рубке пород. Разработка лесосек ВПМ и БТМ приводила к массовому уничтожению не подлежащих рубке деревьев и подроста. Сохранность их не превышала соответственно 25 и 20 %, а нарушение поверхности почвы достигало 80 % и более. Полученные показатели практически исключают возможность применения их при выборочных рубках.

Более высокие возможности при проведении лесозаготовок возникли с появлением на лесосечных работах многооперационных харвестеров и форвардеров в 1990-х годах (табл. 1). Характерная особенность этих лесосечных комплексов в том, что они монтируются на трехосном колесном шасси, которое в зависимости от сезона лесозаготовок может оборудоваться эластичными гусеницами и цепями. Эти универсальные машины с гибкой сочлененной рамой и вылетом стрелы манипулятора до 11 м позволяют осуществлять несплошные рубки, в том числе и рубки ухода за лесом (прореживание и проходные рубки) с сохранением лесной среды и сомкнутостью древостоя на лесосеках.

Технологические схемы лесосечных работ на базе колесных лесозаготовительных машин непосредственно связаны со способами рубок и системой механизмов, применяемых на лесосеках (Баранников, Науменко, 1957; Современное состояние..., 2009; Алексеенко, Ковалев, 2018). При сплошных рубках на вырубке пасеке все деревья, за исключением тонкомера,

спиливались и раскряжевывались харвестером на сортименты. Укладка сортиментов осуществлялась слева и справа от прохода машины. По следу харвестера двигался форвардер, который манипулятором подбирал и укладывал сортименты на свою грузовую платформу. Набрав воз, форвардер вывозил сортименты к месту складирования и производил их разгрузку в штабеля.

При выборочных рубках харвестер и форвардер передвигались по лесосеке преимущественно извилистыми ходами, между деревьями, в пределах пасеки. Продвигаясь вперед, харвестер спиливал все деревья на волоках и назначенные в рубку на пасеке, не нанося повреждений не подлежащим рубке деревьям. При наличии на лесосеке крупномерных деревьев (диаметром более 50 см) их валка осуществлялась вальщиком с бензопилой, который раскряжевывал сваленные деревья на сортименты требуемой длины. Обрезка сучьев осуществлялась у пня спиленного дерева с оставлением их на пасеке для перегнивания. На лесосеках с влажными почвами, когда в местах прохода машины образовывалась колея, обрезанные сучья укладывались на волок. Сбор и вывозка сортиментов форвардером проводилась строго по следу харвестера.

При рубках с использованием бензомоторных пил на валке и колесного форвардера на трелевке лесосечные работы осуществлялись бригадой из 3–4 чел. – оператора сортиментовоза и 2–3 вальщиков. Валочный цикл включал рубку деревьев, обрезку сучьев, разметку сортиментов, раскряжевку и разворот сортиментов. При валке деревьев вальщиком одновременно подготавливался волок, где все деревья спиливались заподлицо.

Сводные данные, иллюстрирующие лесоводственную эффективность применения агрегатной техники в различных типах леса, приведены в табл. 2. Состояние лесосек сплошных рубок после применения харвестеров и форвардеров вполне сравнимо с последствиями использования традиционной отечественной техники при одинаковых технологических схемах.

При выборочных рубках с передвижением машины извилистыми ходами по пасеке достигается равномерность выборки деревьев по площади. Интенсивность рубки регулировалась минимальным отпускным диаметром и средним расстоянием между оставляемыми деревьями для елово-пихтовых древостоев около 4–5 м, для смешанных хвойно-широколиственных насаждений – 5–6 м, что позволило сохранить после-

рубочную полноту в пределах, установленных нормативами.

Использование для первичной транспортировки древесины из лесосеки вертолетов Ка-32 и Ми-8МТ при равномерно-выборочных и котловинных рубках позволяет максимально сохранять деревья, не подлежащие рубке и подрост предварительной генерации. Лесосечные работы включали в себя валку деревьев, обрезку сучьев, чокеровку и транспортировку на верхний склад. При трелевке деревьев с кроной или в хлыстах их валка осуществлялась бензомоторной пилой в направлении, удобном для последующей чокеровки и наименьшей повреждаемости оставленных на корню деревьев и подростов.

Технологический цикл вертолетной трелевки включал полет от верхнего склада на лесосеку, где находились стропальщики у заготовленных деревьев; зависание над местом приема груза; сцепку чокеров с крюком трелевочного троса; полет к грузовой площадке; зависание над верхним складом и отцепку деревьев. Трелевка проводилась отдельными деревьями с кроной при выборочных рубках и хлыстами по 2–3 ствола – при котловинных. Расстояние трелевки 500–800 м. Сменная производительность по способам рубок отличалась незначительно и составляла 65–80 м³.

Обследование лесосек после рубки показало, что первичная транспортировка древесины вертолетами не оказывает существенного влияния на лесную среду. Количество поврежденных деревьев, не подлежащих рубке, не превышает 9 %. Сохранность подростов – 75–85 % от имевшегося до рубки. Повреждения почвы (15,7 %) наблюдаются в виде рыхления подстилки и гумусового горизонта.

Проведенная оценка технологических процессов лесосечных работ в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока по их влиянию на различные компоненты лесной среды позволила выбрать наиболее оптимальные технологии, приемлемые для проведения рубок в сложных многопородных насаждениях (табл. 3)

ВЫВОДЫ

Необходимость максимального сохранения лесной среды и проведение только выборочных способов рубок являются главными ограничивающими факторами, определяющими использование лесозаготовительных комплексов и технологий в дальневосточных хвойно-широколиственных лесах. Наиболее востребованными

Таблица 3. Ранжирование систем лесосечных машин по оценке лесоводственно-технологических показателей при заготовке древесины в хвойно-широколиственных лесах, балл

Показатель	Бензопилы + трелевочный трактор с чокерной оснасткой	Валочно-пакетирующие + бесчокерные трелевочные машины	Харвестер + форвадеры	Бензопилы + канатные установки	Бензопилы + вертолет
Возможность работы на выборочных рубках	3	5	2	4	1
Сохранность не подлежащих рубке деревьев	3	5	2	4	1
Сохранность подроста	2	5	3	4	1
Минимизация нарушения почвенного покрова	3	5	2	4	1
Наименьшая площадь волоков	3	5	4	2	1
Удельное давление на грунт	3	4	5	2	1
Сменная производительность	2	1	3	4	5
Итого ...	19	30	21	24	11
Средневзвешенная оценка	II	V	III	IV	I

Примечание. Ранжирование проведено по принципу – наименьшая сумма баллов соответствует лучшей системе машин.

технологиями, отвечающими лесоводственно-технологическим параметрам рубок, в ближайшей перспективе будут лесосечные работы, использующие на валке бензодвигательные пилы с трелевкой древесины тракторами с чокерной оснасткой. Несмотря на высокие лесоводственно-экологические показатели использования вертолетов при транспортировке древесины, их применение ограничивается высокой себестоимостью работ и низкой производительностью труда.

Это же касается и харвестеров с форвардерами, при использовании которых имеются ограничения с валкой крупномерных деревьев и при работе на сырых почвах. Другие технологии связаны со сложностью проведения выборочных рубок.

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.
- Анисимов Г. М. Сохранность подроста при различных способах заготовки леса // Лесн. хоз-во. 1966. № 8. С. 24–25.
- Баранников Л. Ф., Науменко З. М. Трособлочные лесоспуски на Сахалине // Лесн. пром-сть. 1957. № 6. С. 22–23.
- Ковалев А. П. Лесоводственная эффективность канатной трелевки на горных склонах // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1985. Вып. 27. С. 33–37.
- Ковалев А. П. О рубках леса на Дальнем Востоке // К 50-летию кафедры лесоводства Института лесного и лесопаркового хозяйства Приморской ГСХА. Уссурийск: ДальНИИЛХ, 2010. С. 88–92.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.
- Лесной кодекс Российской Федерации. Утв. от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 26.03.2022).
- Лесоводственная оценка техники и технологии лесосечных работ: Метод. рек. / сост. В. И. Исаев, А. В. Побединский. М.: ЦБНТИ-лесхоз, 1977. 15 с.
- Ляшенко Ф. А., Галицкий Д. И., Кравченко В. А. Приморская технология лесосечных работ, обеспечивающая сохранение подроста и молодняка. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1964. 16 с.
- Манько Ю. И., Ворошилов В. П. Рост подроста кедр корейского предварительного происхождения на сплошных и условно-сплошных вырубках в кедрово-широколиственных лесах // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: БПИ ДВФ СО АН СССР, 1969. Сб. 3. С. 61–67.
- Манько Ю. А., Журавков А. Ф. Материалы к истории лесного хозяйства на Дальнем Востоке // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: БПИ ДВФ СО АН СССР, 1965. С. 245–270.
- Петров Н. Ф. Изменение лесорастительной среды при механизированных лесозаготовках // Материалы научной конференции по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1965. С. 67–72.
- Побединский А. В., Верхунов П. М., Поздняков А. А. Способы рубок главного пользования в пихтовых лесах Сибири // Материалы научной конференции по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1965.
- Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в

- статье 23 Лесного кодекса РФ. Утв. Приказом Мин-ва природ. ресурсов и экологии РФ от 01.12.2020 № 993. М.: Мин-во природ. рес. и экол. РФ, 2020.
- Разработка леса по методу узких лент* // Лесн. пром-сть. 1961. № 11. С. 4.
- Руководство по организации и ведению хозяйства в кедрово-широколиственных лесах Дальнего Востока (кедр корейский)* / Руководитель и отв. сост. В. Н. Корякин. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2003. 164 с.
- Сажин С. Н.* Новая технология лесосечных работ с сохранением естественного подроста. М.: Гослесбумиздат, 1961. 43 с.
- Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования* / под ред. А. П. Ковалева. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.
- Соловьев К. П., Золотухин Г. К.* Опыт разработки лесосек в кедровниках Дальнего Востока с сохранением подроста главных пород. Листок ЦНТИ. Хабаровск, 1955. 6 с.
- Соловьев К. П., Чумин В. Т.* К оценке естественного возобновления в лесах Приморья и Приамурья // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1965. Вып. 7. С. 501–504.
- Стариков Г. Ф.* Рационально использовать лесосечный фонд // Лесн. пром-сть. 1957. № 7. С. 14–17.
- Стратегия сохранения амурского тигра в Российской Федерации.* Утв. распоряж. Минприроды России от 02.07.2010 № 25-р.
- Цымек А. А.* Лиственные породы Дальнего Востока, пути их использования и воспроизводства. Хабаровск: Хабар. кн. изд-во, 1956. 327 с.

SILVICULTURAL ASSESSMENT OF WOOD HARVESTING TECHNOLOGIES IN CONIFEROUS-BROAD-LEAVED FORESTS OF THE FAR EAST

A. P. Kovalev, T. G. Kachanova

*Far Eastern Research Institute of Forestry
Volochevskaya, 71, Khabarovsk, 680020 Russian Federation*

E-mail: a.p.kovalev51@mail.ru, kachanjva@mail.ru

In accordance with regulatory documents, the organization and conduct of logging operations should be carried out by methods and techniques that ensure maximum conservation of forest environment, contribute to the reproduction of valuable forests in the shortest possible time, and strengthen their protective and protective functions. This is especially true for the coniferous-broad-leaved forests of the Far East, which are a unique formation that includes cedar and black-fir-broad-leaved, spruce-broad-leaved, hard and soft-leaved subformations. These forests are characterized by a very complex canopy structure. The composition includes, as a rule, 10–20 tree species, differing in their biology and growth, which creates a clearly expressed vertical density of the forest stand. The presence in plantations of endemic and forbidden species, as well as lianas and shrubs listed in the Red Book (2008) require a special approach to the methods and technologies of wood harvesting. Studies have shown that in the formation of coniferous-broad-leaved forests, selective felling methods and logging technologies should be predominantly used, allowing not only to preserve undergrowth and fine-grained valuable species, but also to ensure the formation of a post-cutting stands close to the original forest type. This leads to very important conclusions on the organization of wood harvesting only by certain types of machines and mechanisms using narrow stripe technology, which is confirmed by our research.

Keywords: *corean pine-broad-leaved forests, narrow stripe logging technology, ranking of machines and mechanisms, Primorsky Krai, Khabarovsk Krai.*

How to cite: *Kovalev A. P., Kachanova T. G. Silvicultural assessment of wood harvesting technologies in coniferous-broad-leaved forests of the Far East // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 3–11 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630*907 (571.61)

СРЕДООБРАЗУЮЩИЕ ФУНКЦИИ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСОВ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. Г. Замолодчиков^{1, 2}, А. В. Иванов³, В. И. Грабовский¹, Н. А. Юст⁴, Н. А. Тимченко⁴

¹Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
109028, Москва, Покровский бульвар, 11

³Институт геологии и природопользования ДВО РАН
675000, Благовещенск, пер. Рёлочный, 1

⁴Дальневосточный государственный аграрный университет
675005, Благовещенск, ул. Политехническая, 86

E-mail: dzamolod@cepl.rssi.ru, aleksandr86@mail.ru, wgrabo57@gmail.com,
yustnatal@mail.ru, timchenko-nat@mail.ru

Поступила в редакцию 21.04.2022 г.

Защитные леса Амурской области в 2022 г. занимали 2.51 млн га, из них 1.72 млн га (68.5 %) было покрыто лесом, 0.18 млн га (7.2 %) – не покрыто, 0.61 млн га (24.3 %) относилось к нелесным землям. Площадь их составляла 5.6 % от покрытых лесом земель и 8.2 % от всей площади лесного фонда области. Для большей части постсоветского периода характерно стабильность этого показателя: в 1998–2022 г. общая площадь защитных лесов достигала 2.50–2.52 млн га. Наиболее представлены запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов (47.9 % от покрытых лесом земель и 49.6 % от всей площади защитных лесов), второе место занимают нерестовые охранные полосы лесов (29.0 % от покрытых лесом земель, 27.2 % от всей площади защитных лесов), третье – защитные полосы лесов, расположенные вдоль железнодорожных путей и автомобильных дорог (20.7 % от покрытых лесом земель, 20.9 % от всей площади защитных лесов). Преобладающие категории защитных лесов вполне логично соответствуют экономической специфике районов Амурской области. Водоохранные сервисы защитных лесов региона требуют усиления. В условиях потепления климата рекомендуется нормативное признание функций лесов по предотвращению деградации многолетней мерзлоты.

Ключевые слова: земли лесного фонда, лесничества, водоохранные леса, нерестовые охранные полосы лесов, многолетняя мерзлота.

DOI: 10.15372/SJFS20220602

ВВЕДЕНИЕ

Амурская область расположена в южной части Дальневосточного федерального округа и занимает площадь 36.4 млн га. Ее южная граница проходит по р. Амур, разделяющей Россию и Китай, а северная – по Становому хребту. Лесистость региона 64 %. Леса представлены преимущественно лиственничниками низкой и средней продуктивности с запасами 50–200 м³/га (Яборов, 2009). Возобновительный цикл лист-

венничников, как правило, связан с пожарами, которые регулярно возникают на территории Сибири и Дальнего Востока (Уткин, 1965; Абаимов, 2005). Рост их частоты и интенсивности в последние годы представляет серьезную угрозу для лесов региона (Kharuk et al., 2016). Здесь находится южная граница распространения многолетней мерзлоты, которая занимает значительную часть территории субъекта (Brown et al., 1997). Область полностью располагается в левобережной части бассейна р. Амур и занима-

ет 19.6 % его площади. В отличие от большинства крупных зарегулированных рек мира, Амур остается свободно текущим и водность его бассейна во многом определяется состоянием лесов. Помимо обеспечения лесной промышленности древесиной, они осуществляют важные экосистемные сервисы по защите криолитозоны, регулированию водного стока, а также локального и глобального климата, аккумулируя значительные запасы углерода (Замолодчиков и др., 2009; Environmental change..., 2015).

Леса на землях лесного фонда по своему назначению подразделяются на защитные, эксплуатационные и резервные (Лесной кодекс, 2006). Защитные леса выполняют средообразующие, водоохранные, санитарно-гигиенические, оздоровительные и иные полезные функции. Допускается и ресурсное использование защитных лесов при условии, что оно совместимо с их целевым назначением и выполняемыми функциями. Нормативы ведения лесного хозяйства в защитных лесах периодически изменяются, в некоторых ситуациях возникают опасения, что ресурсные функции таких лесов будут доминировать над защитными (Кобяков и др., 2013, 2018). Тем не менее площадь защитных лесов в Российской Федерации постоянно увеличивается, в частности за 1993–2020 гг. она возросла на 51 % (Замолодчиков и др., 2021).

Сложившееся соотношение категорий назначения защитных лесов далеко не всегда в полной мере соответствует современным потребностям экономики и населения тех или иных регионов. Например, в связи с повышением мобильности населения и распространением моды на путешествия возрастает потребность в рекреационных сервисах лесов. Для окрестностей промышленных центров важнейшее значение имеют сервисы лесных экосистем по очистке атмосферного воздуха и водного стока от техногенных загрязнений. Новые угрозы, связанные с климатическими изменениями, требуют усиления сервисов лесов по регулированию водного стока и по поглощению атмосферного углерода.

Решение задачи устойчивого ведения хозяйства в защитных лесах Российской Федерации зависит от отнесения этих лесов в регионах к той или иной категории.

Цель настоящей статьи – рассмотреть распределение площадей защитных лесов и их доминирующих категорий на территории Амурской области и выделить сервисы защитных лесов, которые требуют усиления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным источником информации были базы данных Государственных учетов лесного фонда (ГУЛФ) (1988, 1993, 1998–2008 гг.) и Государственного лесного реестра (ГЛР) (2009–2000, 2022 гг.), имеющиеся в информационных архивах ЦЭПЛ РАН и ИГиП ДВО РАН. В этих базах содержится информация о площадях земель лесного фонда в дифференциации по категориям земель и категориям защитности лесов. Категории земель включают покрытые лесом земли, не покрытые лесом земли и нелесные. На составе земель, учитываемых в ГУЛФ и ГЛР, отражаются изменения полномочий по управлению лесами Российской Федерации, более подробная информация по этому вопросу приведена Д. Г. Замолодчиковым с соавт. (2011).

В состав защитных лесов входит категория «леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях». Она включает только те леса, которые располагаются на землях лесного фонда. Леса могут располагаться и на землях особо охраняемых природных территорий (ООПТ), информация по ним не включается в ГЛР. Площадь земель ООПТ Амурской области по состоянию на 2020 г. составляет 408.7 тыс. га, из них 291.9 тыс. га приходится на леса, которые не рассматриваются в настоящей статье.

Для построения карт использовали программное обеспечение ArcGIS 10.3, материалы сайта о лесах высокой природоохранной ценности, созданного Всемирным фондом дикой природы (Леса..., 2022). Границы лесничеств приведены по состоянию на 2016 г. В атрибутивную таблицу векторного слоя лесничеств были добавлены расчетные значения площадей всех лесов и защитных лесов, а также значения доли защитных лесов. Данные атрибутивных таблиц использовались для составления карт. Дополнительная информация по площади ООПТ Российской Федерации получена в системе государственной статистики ЕМИСС (2022). Формирование выборок данных и преобразование величин осуществлены в пакете Microsoft Excel.

Предварительная оценка потенциального изменения ширины полос водоохранных лесов Амурской области получена на основе схемы выделения водопоглотительной полосы (Денисова, Турков, 2021). Определение параметров русел оцениваемых объектов (реки Томь, Ивановка, Архара) выполнено на основе слоя цифровой модели рельефа Shuttle Radar

Topography Mission (SRTM Data, 2004–2022) с пространственным разрешением 60 м/пиксель. После классификации слоя в ArcGIS визуально определили положение бровок склона долины на правом и левом берегах и измерили расстояние между ними. Оценка потенциальной ширины водоохранной зоны выполнена в трех точках, расположенных на реках Томь, Архара и Ивановка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая площадь защитных лесов Амурской области в 2022 г. составляла 2.51 млн га, из них 1.72 млн. га (68.5 %) покрыто лесом, 0.18 млн га (7.2 %) относилось к не покрытым лесом землям, 0.61 млн га (24.3 %) – к нелесным. Высокая доля покрытых лесом земель от всей площади защитных лесов в рассматриваемом субъекте РФ вполне логично объясняется отсутствием значительных площадей нелесных ландшафтов (необлесенных болот, тундр и т. д.). Доля защитных лесов составляет 5.6 % по покрытым лесом землям и 8.2 % по всей площади лесного фонда области.

Для большей части постсоветского периода характерна стабильность площади защитных лесов Амурской области: за 1998–2022 гг. она

колебалась в пределах 2.50–2.52 млн га. Лишь в 1993 г. она была несколько меньше и составляла 2.42 млн га. Такая ситуация заметно отличается от отмеченного выше роста площади лесов в Российской Федерации. Наиболее интенсивное увеличение площадей защитных лесов в России имело место в 1993–1998 гг. на фоне почти трехкратного снижения объемов лесозаготовки (Замолодчиков и др., 2021). В этот период ресурсной функции лесов стали придавать меньшее значение, потому администрации многих регионов были более отзывчивы к призывам усилить защитные функции лесов. В Амурской области снижение объема лесозаготовок за 1990-е годы было почти пятикратным, но площадь защитных лесов осталась почти неизменной.

Защитные леса в современном ГЛР подразделены на 17 категорий, из них в рассматриваемом субъекте РФ имеется 6 (табл. 1).

Наиболее представлены запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов (47.9 % от покрытых лесом земель и 49.6 % от всей площади защитных лесов). Для Амурского региона особо значима проблема стабильности гидрологического режима (Гусев, 2014), и потому водоохранная функция защитных лесов доминирует. На втором месте по представленности находятся нерестовые охранные полосы

Таблица 1. Площади категорий защитных лесов Амурской области согласно Государственному лесному реестру по состоянию на 01.01.2022 г.

Категории защитных лесов	Покрытые лесом земли			Вся площадь защитных лесов	
	тыс. га	доля (%) от		тыс. га	доля от площади защитных лесов, %
		покрытых лесом земель	площади защитных лесов по категории		
Запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов	824.7	47.9	66.1	1248.0	49.6
Нерестовые охранные полосы лесов	498.6	29.0	73.0	683.3	27.2
Защитные полосы лесов, расположенные вдоль железнодорожных путей общего пользования, федеральных автомобильных дорог общего пользования, автомобильных дорог общего пользования, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации	356.8	20.7	67.8	526.5	20.9
Зеленые зоны	38.4	2.2	73.3	52.4	2.1
Лесопарковые зоны	1.8	0.1	75.0	2.4	0.1
Леса, расположенные в первой, второй и третьей зонах округов санитарной (горно-санитарной) охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов	1.3	0.1	65.0	2.0	0.1
Итого ...	1721.6	100.0	68.5	2514.6	100.0

лесов (29.0 % от покрытых лесом земель, 27.2 % от всей площади защитных лесов). Ихтиофауна области насчитывает 74 вида рыб, в том числе виды из отрядов лососеобразных (*Salmoniformes*) и осетрообразных (*Acipenseriformes* Berg), часть из которых являются объектами промысла (Тоушкина и др., 2019). Третье место занимают защитные полосы лесов, расположенные вдоль железнодорожных путей общего пользования, федеральных автомобильных дорог общего пользования, автомобильных дорог общего пользования, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации (20.7 % от покрытых лесом земель, 20.9 % от всей площади защитных лесов). Через Амурскую область проходят Транссибирская и Байкало-Амурская магистрали с выходом на морские порты Дальнего Востока, а также участки Амуро-Якутской дороги (Социально-экономический профиль..., 2021). Развитие транспортной сети приводит к высокой доле «придорожных» защитных лесов.

Защитные леса, как и другие, испытывают различные нарушения (пожары, усыхания, ветровалы, вспышки вредителей), потому в их структуре всегда присутствует некоторая доля площадей, временно лишенных лесного покрова, по динамике которых можно судить об истории нарушений. В 1993 г. площадь гарей и погибших насаждений в защитных лесах Амурской области составляла 38.2 тыс. га, а в 2022 г. – 32.1 тыс. га (рис. 1, а), т. е. несколько уменьшилась. Эта ситуация отличается от положения в Российской Федерации в целом, для которой характерен рост площадей гарей примерно в 2.5 раза за 1993–2020 гг. (Замолотчиков и др., 2021).

Площадь вырубок защитных лесов в 1993–2022 гг. варьировала между 8.6 и 14.0 тыс. га (рис. 1, б). Минимальные площади вырубок отмечаются в 2006–2009 гг., что связано с запретом проведения сплошных рубок в защитных лесах, за исключением санитарных. С 2010 г. площадь вырубок постоянно возрастает и достигает максимального значения в 2022 г.

В некоторых публикациях высказывались опасения, что под видом санитарных и выборочных рубок в защитных лесах осуществляется коммерческая заготовка древесины (Кобяков и др., 2013), и динамика площадей вырубок в Амурской области дает основания к таким опасениям.

Представляет интерес рассмотрение распределения площадей защитных лесов по лесничествам Амурской области. В настоящее время в

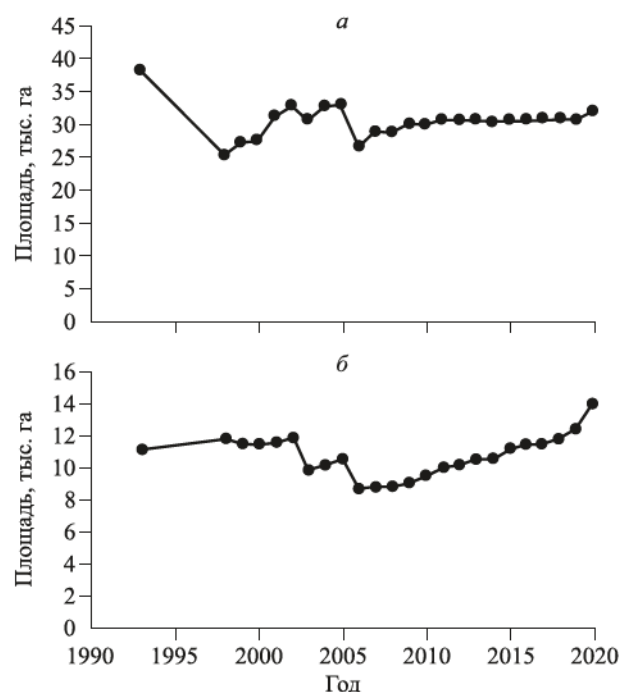


Рис. 1. Площади гарей, погибших насаждений (а) и вырубок (б) в защитных лесах Амурской области в 1990–2020 гг.

области имеется 13 лесничеств, перечень и границы которых показаны на рис. 2.

Сравнение будет проведено по доле всех площадей защитных лесов от всей площади лесного фонда лесничества. Чем больше это соотношение, тем в большей степени востребованы экосистемные сервисы лесов и тем меньше их ресурсные функции. Максимальная доля защитных лесов отмечена в Бурейском (27.9 %) и Благовещенском (16.5 %) лесничествах. Высока она в Белогорском, Свободненском и Завитнинском лесничествах (13.9–14.9 %). Эти территории испытали наиболее сильное антропогенное преобразование, в результате сохранившиеся лесные массивы более важны по своим экосистемным сервисам, чем по ресурсам древесины. В большей части лесничеств Амурской области доля защитных лесов колеблется в пределах 6.0–10.0 %. Этот диапазон характерен для регионов с большими лесными ресурсами и малым уровнем развития экономической инфраструктуры. Наименьшая доля защитных лесов – в Архаринском лесничестве (3.5 %), что связано со слабым развитием инфраструктуры в северной части лесничества, низкой плотностью населения, выраженным горным рельефом в бассейне р. Архары. «Белые пятна», показанные на рис. 2, соответствуют землям сельскохозяйственного назначения и ООПТ. По доминирующей в лесничестве категории защитных лесов территория

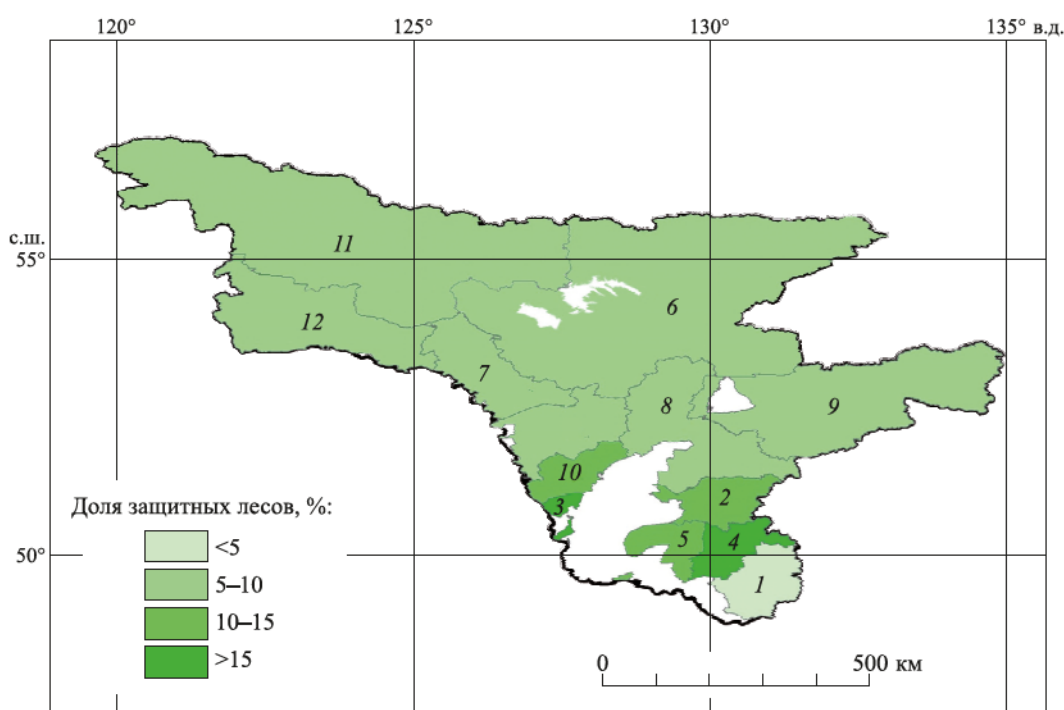


Рис. 2. Доля защитных лесов от площади лесного фонда лесничеств Амурской области.

Лесничества: 1 – Архаринское (3.5 %); 2 – Белогорское (13.9 %); 3 – Благовещенское (16.5 %); 4 – Бурейское (27.9 %); 5 – Завитинское (14.9 %); 6 – Зейское (8.59 %); 7 – Магдагачинское (7.6 %); 8 – Мазановское (7.7 %); 9 – Норское (6.3 %); 10 – Свободненское (14.5 %); 11 – Тындинское (7.5 %); 12 – Урушнинское (6.0 %); 13 – Шимановское (10.0 %).

Амурской области четко подразделяется на три зоны (рис. 3).

В центральной части области располагается самая крупная зона с преобладанием запретных полос лесов, расположенных вдоль водных объектов. В южной части доминируют нерестовые охраняемые полосы лесов, а в северо-западной – защитные полосы лесов, расположенных вдоль железнодорожных путей и автомобильных дорог. Преобладающие категории защитных лесов вполне логично соответствуют экономической специфике районов Амурской области.

В каждом лесничестве помимо доминирующей присутствуют и другие категории защитных лесов. Более точное представление о пространственном распределении дает карта фактического расположения защитных лесов (рис. 4).

Площади защитных лесов имеют форму узких линейных объектов, как правило, разветвленных. Они расположены вдоль дорог либо водных объектов. На территории Амурской области отсутствуют категории защитных лесов, которые образуют крупные массивы (например, орехово-промысловые зоны или леса, расположенные в лесостепных зонах).

Современные исследования, основанные на анализе данных дистанционного зондирования

и применении моделирования, позволяют описать влияние состояния лесного покрова на гидрологический режим рек (Bradshaw et al., 2007; Hurkmans et al., 2009; Sriwongsitanon, Taesombat, 2011; Прысов и др., 2021). Анализ космических снимков водосборного бассейна р. Амур показал, что сокращение площадей лесов приводит к перераспределению и резкому увеличению водного стока в периоды тайфунов в бассейнах его притоков (Гусев, 2014; Мы..., 2016; Соколова и др., 2017; Верхотуров и др., 2018). Трансформация коренных хвойных лесов во вторичные растительные сообщества с доминированием мелколиственных видов также рассматривается как негативное явление с точки зрения гидрологических функций лесов (Дюкарев, Кожевникова, 2012; Верхотуров и др., 2018). Процесс пирогенной смены коренных лиственных лесов на березняки характерен для Амурской области и, в частности, для защитных лесов, поскольку пути сухопутного транспорта – одного из главных источников лесных пожаров – очень часто прокладываются в поймах рек.

Учитывая малую долю защитных лесов в лесном фонде Амурской области, а также усиление влияния на них антропогенного фактора, можно заключить, что имеющиеся площади защитных



Рис. 3. Доминирующая категория назначения защитных лесов по лесничествам Амурской области.

Обозначения лесничеств см. на рис. 2.

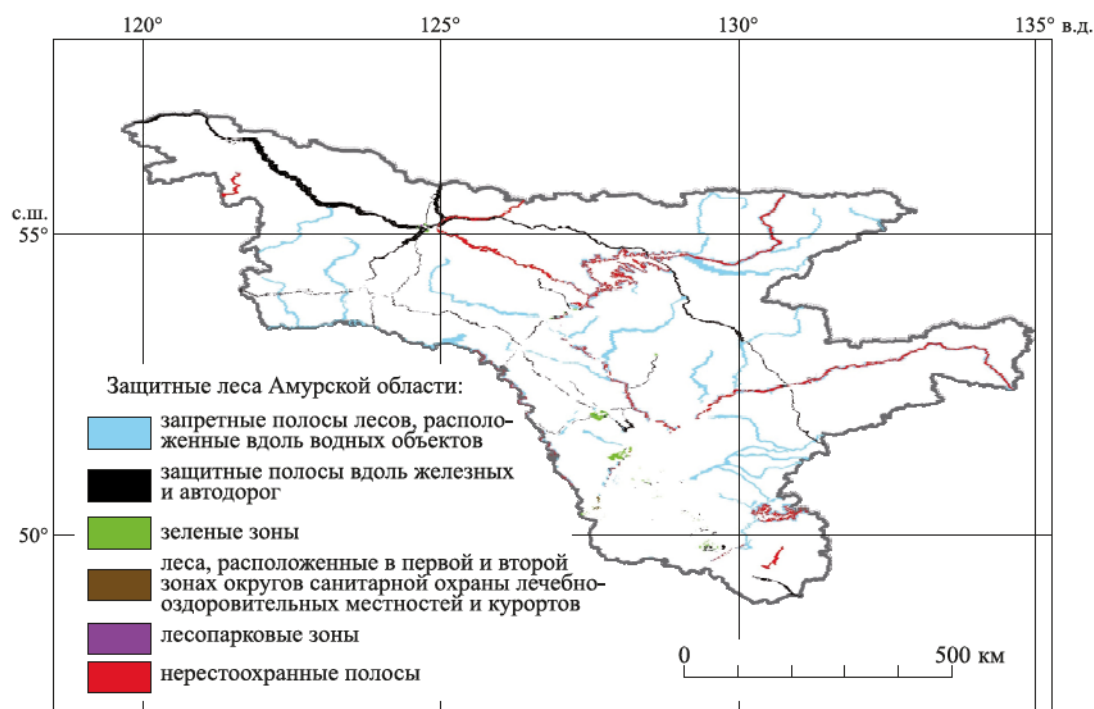


Рис. 4. Размещение защитных лесов по территории Амурской области.

лесов, выделенные вдоль водных объектов, не вполне достаточны для полноценного выполнения ими функций, связанных с поддержанием гидрологического режима рек. По нашему мнению, нормативы выделения водоохранных лесов должны иметь региональную специфику,

поскольку как физические характеристики рек, так и хозяйственное значение территорий их бассейнов различаются по регионам. Увеличение площадей водоохранных лесов Амурской области возможно путем пересмотра ширины водоохранных зон вдоль рек и их увеличения.

Таблица 2. Ширина водоохранной зоны для некоторых рек Амурской области

Река	Длина, км	Координаты точки измерения, град		Ширина водоохранной полосы, м	
		широта	долгота	по методу М. В. Рубцова	по Водному кодексу РФ
Томь	433	50.917	129.082	2550	200
Ивановка	176	50.377	127.974	480	200
Архара	155	49.592	130.617	360	200

Это может быть выполнено, в частности, по методике М. В. Рубцова (1987). Предлагаемый подход основан на использовании ширины водопоглотительной полосы и расстояния от уреза воды до бровки склона речной долины в качестве границы водоохранных насаждений.

Предварительная оценка для трех рек Амурской области показала, что ширина водоохранной зоны, рассчитанная по методике М. В. Рубцова (1987), оказывается значительно больше установленной Водным кодексом РФ (2006) (табл. 2).

Томь относится к наиболее крупным из рассмотренных рек, пересекает с запада на восток Зейско-Буреинскую равнину, которая в западной части характеризуется наиболее пологим рельефом, поэтому ширина между бровками склонов в точке измерения равна 2550 м. Сходным образом была рассчитана ширина водоохранной зоны р. Вычегда (Республика Коми), которая составила 2050–7050 м для левого берега и 1050–5050 м для правого (Денисова, Турков, 2021), в то время как Водный кодекс РФ (2006) устанавливает для этой реки 200-метровую водоохранную зону.

Дискуссионен вопрос о лесохозяйственной деятельности в защитных лесах. Согласно Лесному кодексу (2006), рубки лесных насаждений в защитных лесах допускаются только в целях поддержания их защитных функций. Значительная часть лесов этой категории представлена спелыми и перестойными насаждениями. Ввиду низкой устойчивости к патогенам и высокой фауности древостоев, ВНИИЛМ предложил изменить режим содержания и использования водоохранных лесов, в частности снять ограничение по некоторым видам рубок в целях обеспечения нормальной смены поколений леса (Липкина и др., 2019). В лесной экологии все большую популярность приобретает точка зрения, что экосистемные сервисы достигают максимальных значений в лесах с наибольшим биоразнообразием (Лукина и др., 2020). В этой связи после поведения рубок в защитных лесах стоит поставить задачу последующего формирования мно-

гопородных лесных насаждений, а в дальней перспективе – разновозрастных, способных к устойчивому существованию без значительных вмешательств.

Защитные водо- и нерестовые охранные полосы лесов Амурской области, участвуют в создании благоприятных условий для нереста и миграции горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum)) и кеты (*Oncorhynchus keta* (Walbaum)). Несмотря на то что большая часть современной амурской популяции кеты – основного объекта лососевого рыбоводства в России – сосредоточена в реках Среднеамурской низменности (Хабаровский край), реки Амурской области также входят в исторический ареал распространения этого вида (Золотухин, 2019; Zolotukhin, 2019; Золотухин, Канзепарова, 2019; Животовский и др., 2021; Zhivotovsky et al., 2021). В настоящее время кета находится в Красной книге Амурской области (2020), однако наличие полноценно функционирующих нерестоохранных полос лесов может стать основой для увеличения зоны массового нереста кеты в этом субъекте России. Численность рыбы, достигающей нерестовых зон рассматриваемого субъекта РФ, в значительной степени контролируется интенсивностью ее вылова в низовьях Амура. В этой связи возможные меры по увеличению площадей нерестоохранных полос в Амурской области должны быть скоординированы с оптимизацией промысла кеты в низовьях Амура, что предполагает взаимодействие с органами природопользования Хабаровского и Приморского краев.

Согласно циркумполярной карте (Brown et al., 1997), 84 % площади Амурской области находится в зоне распространения многолетней мерзлоты. Здесь проявляются негативные последствия деградации многолетнемерзлых грунтов, связанные как с климатическими, так и с антропогенными причинами. Так, в Норском заповеднике (центральная часть Амурской области) фиксируется смещение слоя сезонного протаивания грунта вязкопластичной консистенции по криогенному водоупору на десятки

миллиметров в год (Борисова, 2020). В бореальных лесах Азиатской части России лесная растительность выступает ключевым фактором, сдерживающим потепление и таяние мерзлоты (Москаленко, 2012; Fedorov et al., 2016; Jin et al., 2021). Деградация многолетней мерзлоты влияет на растительный покров в первую очередь через изменения в гидрологии почвы (Han et al., 2020; Li et al., 2021). Образование ландшафтов с заболоченными почвами происходит при таянии мерзлоты высокой льдистости. Эти факты необходимо учитывать и в лесоуправлении, в частности, использовать сведения о распространении мерзлоты при передаче лесных участков в аренду и составлении проектов освоения лесов с исключением наиболее уязвимых зон мерзлоты из планов рубок.

В условиях современного потепления климата можно говорить об изменении характера климаторегулирующей роли бореальных лесов. Ранее она состояла в защите от вторжения холодных арктических воздушных масс, и с этой целью были выделены притундровые леса в составе защитных. Ныне возрастает роль лесного покрова по предотвращению деградации многолетней мерзлоты на фоне потепления климата. В этой связи авторы предлагают ввести новую категорию защитных лесов – «леса с ограничением лесозексплуатации в местах распространения многолетней мерзлоты». Такие участки можно выделить на основе предварительного геоэкологического обследования, выявляющего территории с повышенной геоэкологической опасностью. Прогрессирующее потепление неизбежно рано или поздно приведет к деградации мерзлоты на территориях повышенного риска. Однако лесной покров способен отложить срок интенсивной деградации мерзлоты, возможно, вплоть до того времени, когда скажутся меры по сохранению глобального климата, предпринимаемые международным сообществом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного анализа позволяют сделать следующие выводы:

1. Общая площадь защитных лесов Амурской области составляет 2.51 млн га, из них 1.72 млн га (68.5 %) покрыто лесом, 0.18 млн га (7.2 %) относится к не покрытым лесом землям, 0.61 млн га (24.3 %) – к нелесным землям. Доля защитных лесов лесного фонда области составляет 5.6 % по покрытым лесом землям и 8.2 % от площади лесного фонда области.

2. Состав и представленность категорий защитных лесов Амурской области логично соответствуют экономической специфике районов. Наиболее представлены водоохранные леса (49.6 % от общей площади защитных лесов), лесные полосы вдоль нерестовых рек (27.2 %) и защитные полосы лесов, расположенные вдоль железных и автомобильных дорог (20.7 %). На остальные категории (зеленые зоны, лесопарки, санитарные леса) приходится всего 2.5 %.

3. Последствия регулярных наводнений в Амурской области дают основания полагать, что водоохранная функция защитных лесов недостаточна. Существующие нормативы установления водоохранных полос следует пересмотреть в сторону расширения.

4. Современные изменения климата приводят к деградации многолетней мерзлоты, которая покрывает более 80 % площади Амурской области. Предложено ввести новую категорию защитных лесов – «леса с ограничением лесозексплуатации в местах распространения многолетней мерзлоты».

Работа выполнена при поддержке темы государственного задания ЦЭПЛ РАН регистрационный номер 121121600118-8 «Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем» (анализ баз данных) и РНФ № 19-77-30015 (работа с ГИС).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов А. П. Особенности и основные направления динамики лесов и редколесий в мерзлотной зоне Сибири // Сиб. экол. журн. 2005. Т. 12. № 4. С. 663–675.
- Борисова И. Г. Карта растительности Норского заповедника (Амурская область) // Геоботаническое картографирование. 2020. С. 24–38.
- Верхотуров А. Л., Соколова Г. В., Барталев С. А., Крамарева Л. С. Исследование лесогидрологических процессов на водосборах рек бассейна Амура по данным спутниковых и гидрометеорологических наблюдений // Совр. пробл. дистанц. зонд. Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 142–154.
- Водный кодекс Российской Федерации. Утв. 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 01.04.2022) // Собрание законодательства РФ. № 23 от 5 июня 2006
- Гусев М. Н. К проблеме наводнений в Приамурье // Пробл. рег. экол. 2014. № 6. С. 84–90.
- Денисова И. В., Турков Н. А. Проблемы выделения границ водоохранных зон Вычегды от г. Сыктывкара до устья // Рег. геосистемы. 2021. Т. 45. № 4. С. 590–600.
- Дюкарев В. Н., Кожевникова Н. К. Эколого-защитный потенциал горных ландшафтов в условиях антропо-

- генной динамики структуры и продуктивности лесов Южного Сихотэ-Алиня // Фунд. иссл. 2012. Вып. 2. № 9. С. 288–293.
- ЕМИСС государственная статистика. М.: Минцифры РФ, Росстат, 2022.
- Животовский Л. А., Подорожнюк Е. В., Күльбачный С. Е., Шитова М. В., Ракицкая Т. А., Никифоров А. И., Рубцова Г. А., Афанасьев К. И. Экогеографические единицы и единицы запаса кеты *Oncorhynchus keta* амурской зоогеографической провинции // Вопр. ихтиол. 2021. Т. 61. № 4. С. 432–440.
- Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Коровин Г. Н. Управление бюджетом углерода лесов Дальнего Востока России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS // Лесн. таксация и лесоустройство. 2009. № 1 (41). С. 98–103.
- Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Краев Г. Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16–28.
- Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Каганов В. В. Эко-системные услуги и пространственное распределение защитных лесов Российской Федерации // Лесоведение. 2021. № 6. С. 581–592.
- Золотухин С. Ф. Внутривидовые группировки кеты *Oncorhynchus keta* (Salmonidae) реки Амур и их распределение по бассейну // Изв. ТИНРО. 2019. Т. 197. № 2. С. 21–34.
- Золотухин С. Ф., Канзепарова А. Н. Тихоокеанские лососи Амура. Владивосток: Всемирный фонд охраны дикой природы (WWF). 2019. 110 с.
- Кобяков К., Лепешкин Е., Титова С. Защитные леса: получится ли их сохранить? // Устойч. лесопольз. 2013. № 1 (34). С. 34–44.
- Кобяков К., Шматков Н., Тугова К. Новый закон о защитных лесах: возможные негативные последствия // Устойч. лесопольз. 2018. № 4 (56). С. 29–31.
- Красная книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов / Гл. ред. А. В. Сенчик. 2-е изд., испр., перераб. и доп. Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. агр. ун-та, 2020. 499 с.
- Леса высокой природоохранной ценности Амурской области. М.: WWF России, 2022.
- Лесной кодекс Российской Федерации. Утв. 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 30.12.2021). КонсультантПлюс
- Липкина Т. В., Цареградская С. Ю., Жафяров А. В., Прока И. Ю. Методическое обеспечение применения системных лесоводственных мероприятий в лесах водоохранных зон // Лесхоз. информ. 2019. № 2. С. 129–143.
- Лукина Н. В., Гераськина А. П., Горнов А. В., Шевченко Н. Е., Куприн А. В., Чернов Т. И., Чумаченко С. И., Шанин В. Н., Кузнецова А. И., Тебенькова Д. Н., Горнова М. В. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований // Вопр. лесн. науки. 2020. Т. 3. № 4. С. 1–90.
- Москаленко Н. Г. Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли. 2012. Т. 16. № 2. С. 38–42.
- Мы и амурские наводнения: невыученный урок? Попытка комплексного осмысления проблемы и вариантов ее решения / Ред. А. В. Шаликовский. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2016. 216 с.
- Прысов Д. А., Буренина Т. А., Мусохранова А. В., Кошкаров А. Д. Трансформация стока рек криолитозоны Средней Сибири при различных сценариях изменения лесистости и климата // Сиб. лесн. журн. 2021. № 1. С. 30–44.
- Рубцов М. В. Методические рекомендации по размещению естественных защитных насаждений при освоении лесных земель сельскохозяйственным производством в долинах рек таежной зоны Европейской части СССР. М.: ВАСХНИЛ, 1987. 16 с.
- Соколова Г. В., Верхотуров А. Л., Егоров В. А. Использование наземных и спутниковых наблюдений при анализе лесогидрологических процессов в бассейне р. Амур // ИВУЗ. Лесн. журн. 2017. № 6 (360). С. 9–22.
- Социально-экономический профиль Амурской области – 2020 / Ред. Е. Б. Веприкова, Р. В. Гулидов. Хабаровск: Востокгосплан, 2021. 54 с.
- Тоушкина А. Ф., Тоушкин А. А., Тарабанько А. Н. Видовой состав и хозяйственное значение рыб водоемов Амурской области // Комплексное использование природных ресурсов. Вып. 6. Благовещенск: Дальневост. гос. агр. ун-т, 2019. С. 88–93.
- Уткин А. И. Леса Центральной Якутии. М.: Наука, 1965. 207 с.
- Яборов В. Т. Леса и лесное хозяйство Приамурья. Благовещенск: Изд. комп. РИО, 2009. 224 с.
- Bradshaw C. J., Sodhi N. S., Peh K. S.-H., Brook B. W. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world // Glob. Change Biol. 2007. V. 13. Iss. 11. P. 2379–2395.
- Brown J., Ferrians O. J., Heginbottom J. A., Melnikov E. S. Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions. Circum-Pacific Map Ser. CP-45, scale 1 : 10 000 000, 1 sheet / J. Brown, O. J. Ferrians Jr., J. A. Heginbottom (Eds.). USGS Numbered Ser. Rep. No.: MAP CP-45, 1997. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/cp45>
- Environmental change and the social response in the Amur River Basin / S. Haruyama, T. Shiraiwa (Eds.). Springer Tokyo, 2015. 262 p.
- Fedorov A. N., Iwahana G., Konstantinov P. Y., Machimura T., Argunov R. N., Efremov P. V., Lopez L. M., Takakai F. Variability of permafrost and landscape conditions following clear cutting of larch forest in Central Yakutia // Permafrost and Periglacial Proc. 2016. V. 28. Iss. 1. P. 331–338.
- Han D., Gao C., Liu H., Yu X., Li Y., Cong J., Wang G. Vegetation dynamics and its response to climate change during the past 2000 years along the Amur River Basin, Northeast China // Ecol. Indicators. 2020. V. 117. Iss. 4. Article number: 106577.
- Hurkmans R. T., Terink W., Uijlenhoet R., Moors E. J., Troch P. A., Verburg P. H. Effects of land use changes on streamflow generation in the Rhine basin // Water Res. Res. 2009. V. 45. Iss. 6. P. 1–15.
- Jin X. Y., Jin H. J., Iwahana G., Marchenko S. S., Luo D. L., Li X. Y., Liang S. H. Impacts of climate-induced permafrost degradation on vegetation: A review // Adv. Clim. Change Res. 2021. V. 12. Iss. 1. P. 29–47.
- Kharuk V. I., Dvinskaya M. L., Petrov I. A., Im S. T., Ranson K. J. Larch forests of Middle Siberia: long-term trends in fire return intervals // Reg. Environ. Change. 2016. V. 16. Iss. 8. P. 2389–2397.

- Li X. Y., Jin H. J., Wang H. W., Marchenko S. S., Shan W., Luo D. L., He R. X., Spektor V., Huang Y. D., Li X. Y., Jia N. Influences of forest fires on the permafrost environment: A review // *Adv. Clim. Change Res.* 2021. V. 12. Iss. 1. P. 48–65.
- Sriwongsitanon N., Taesombat W. Effects of land cover on runoff coefficient // *J. Hydrol.* 2011. V. 410. Iss. 3. P. 226–238.
- SRTM Data. Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI), 2004–2022. <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>
- Zhivotovsky L. A., Podorozhnyuk E. V., Kulbachny S. E., Shitova M. V., Rakitskaya T. A., Nikiforov A. I., Rubtsova G. A., Afanasyev K. I. Ecogeographic units and management units of chum salmon *Oncorhynchus keta* of the Amur zoogeographic province // *J. Ichthyol.* 2021. V. 61. N. 4. P. 585–593 (Original Rus. Text ©, L. A. Zhivotovsky, E. V. Podorozhnyuk, S. E. Kulbachny, M. V. Shitova, T. A. Rakitskaya, A. I. Nikiforov, G. A. Rubtsova, K. I. Afanasyev, 2021, publ. in *Voprosy Ikhtiologii*. 2021. V. 61. N. 4. P. 432–440).
- Zolotukhin S. F. Intraspecific groups of the chum salmon *Oncorhynchus keta* (Salmonidae) of the Amur River and their distribution within the basin // *Rus. J. Marine Biol.* 2019. V. 45. N. 7. P. 536–545.

ENVIRONMENTAL FUNCTIONS OF PROTECTIVE FORESTS IN AMUR OBLAST

D. G. Zamolodchikov^{1, 2}, A. V. Ivanov³, V. I. Grabovskiy¹, N. A. Yust⁴, N. A. Timchenko⁴

¹Center for Ecology and Productivity of Forests, Russian Academy of Sciences
Profsoyuznaya str., 84/32, Moscow, 117997 Russian Federation

²National Research University High School of Economy
Pokrovsky bul'var, 11, Moscow, 109028 Russian Federation

³Institute of Geology and Nature Management, Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch
Pereulok Relochmy, 1, Blagoveshchensk, 675000 Russian Federation

⁴Far Eastern State Agrarian University
Politekhmicheskaya str., 86, Blagoveshchensk, 675005 Russian Federation

E-mail: dzamolod@cepl.rssi.ru, aleksandr86@mail.ru, wgrabov57@gmail.com,
yustnatal@mail.ru, timchenko-nat@mail.ru

The total area of protective forests in Amur Oblast in 2022 was 2.51 million ha, of which 1.72 million ha (68.5 %) was forested, 0.18 million ha (7.2 %) was unforested land, and 0.61 million ha (24.3 %) was non-forest land. The share of protective forests in the forest fund of Amur Oblast is 5.6 % for forested lands and 8.2 % for all lands. For most of the post-Soviet period, the area of protective forests in Amur Oblast was characterized by a constant area: in the period 1998–2022, the total area of protective forests was in the range of 2.50–2.52 million ha. According to the contribution, the forbidden strips of forests located along water bodies are the most represented (47.9 % of the forested lands and 49.6 % of all protective forest lands). Spawning belts of forests are in second place in terms of representation (29.0 % of forested lands, 27.2 % of all lands). The third place in terms of contribution is occupied by protective forest belts located along public railways, federal public roads, public roads owned by the constituent entities of the Russian Federation (20.7 % of forested lands, 20.9 % of all lands). The prevailing categories of protective forests quite logically correspond to the economic specifics of the regions of Amur Oblast. The water protection services of the protective forests of Amur Oblast need to be strengthened. Under the conditions of climate warming, it is recommended that the regulatory recognition of forest services to prevent the degradation of permafrost is recommended.

Keywords: forest fund lands, forest management units, water protective forests, spawning forest belts, permafrost.

How to cite: Zamolodchikov D. G., Ivanov A. V., Grabovskiy V. I., Yust N. A., Timchenko N. A. Environmental functions of protective forests in Amur Oblast // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 12–21 (in Russian with English abstract and references).

УДК 631.461 (571.56)

МИКРОБОЦЕНОЗЫ МЕРЗЛОТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Н. П. Кузьмина, С. В. Ермолаева, А. П. Чевычелов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН
677980, Якутск, пр. Ленина, 41

E-mail: erel1982@mail.ru, sveta_efa@mail.ru, chev.soil@list.ru

Поступила в редакцию 25.03.2022 г.

Впервые изучены микробные сообщества мерзлотных лесных почв Якутского ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, на территории которого распространены почти все типы лесных почв, встречающиеся в Центральной Якутии. Установлено, что в исследованных мерзлотных почвах в 2019 г. численность культивируемых микроорганизмов колебалась от $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ до $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы. Наиболее насыщенной микроорганизмами из всех типов мерзлотных почв оказалась перегнойно-карбонатная почва, а самой бедной – солодь. По общей численности микроорганизмов выделялись перегнойно-карбонатная и палевая серая почвы, образованные в результате дернового почвообразовательного процесса. Отмечено, что микроорганизмы сконцентрированы в верхних органогенных горизонтах и с глубиной их численность падает. В микробоценозах исследуемых четырех из пяти типов почв, сформированных на рыхлых легких аллювиальных отложениях, доминировали мицелиальные микроорганизмы, а в микробоценозе солоди, развивающейся на лессовидных аллювиальных суглинках – аммонифицирующие бактерии. Установлено, что преобладание тех или иных групп микроорганизмов зависело от химического состава почв, а также от особенностей их формирования. Мицелиальные грибы в основном были представлены представителями родов аспергилл (*Aspergillus* sp.) и пеницилл (*Penicillium* sp.). Аэробные целлюлозолитические микроорганизмы обнаружены в количестве $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ – $8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ КОЕ/г почвы, больше всего их в перегнойно-карбонатной почве. Азотфиксаторы найдены только в перегнойно-карбонатной почве (98 %). Изучено, что численность микроорганизмов с физико-химическими параметрами (С, N, рН, влажность) коррелирует в различных типах почв по-разному. Количество микроорганизмов в основном зависело от температуры почвы, содержания гумуса и азота.

Ключевые слова: мерзлотные лесные почвы, состав и свойства, количество и распределение микроорганизмов, корреляционные зависимости.

DOI: 10.15372/SJFS20220603

ВВЕДЕНИЕ

В почвах происходят разнообразные биохимические превращения и главную роль в этих процессах играют микроорганизмы (Звягинцев, 1987). Чтобы понять функционирование почвы как системы важна как качественная оценка почвенной микробиоты, т. е. видовой состав и разнообразие, так и ее количественная характеристика. Необходимо знать запасы живых микроорганизмов в почвах разных типов и в их различных генетических горизонтах (Полянская и др., 1995; Гейдебрехт, 1999).

Лесные криоаридные почвы Центральной Якутии формируются в резко континентальном климате и условно относятся к категории «мерзлотных сухих» (Еловская, 1987). Они не имеют аналогов ни в Западной Сибири, ни на территории Европейской части России и характеризуются особым морфологическим строением и физико-химическими свойствами, отличающими их от почв других регионов России. Как правило, для них свойственны слабая дифференциация и укороченность почвенного профиля, низкое содержание гумуса, незначительная сорбционная и водоудерживающая способность (Еловская,

Коноровский, 1978; Саввинов, 2013). Вместе с тем деятельность почвенных микроорганизмов лесных почв Якутии исследована крайне слабо, а изучение микробных сообществ почв на территории Якутии ранее проводилось эпизодически (Напрасникова и др., 1988; Данилова и др., 2008; Ерофеевская, 2014; Щелчкова, Стручкова, 2016; и др.). До сих пор нет целостной картины количественного и качественного состава микрофлоры почв мерзлотных ландшафтов. В предыдущие годы нами были исследованы в основном лугово-степные, лесные палевые и антропогенно трансформированные почвы (Иванова и др., 2008, 2014; Ivanova et al., 2008, 2014). Установлено, что в микробоценозах дерново-луговых и палевых почв доминировали группы аммонифицирующих бактерий. Наиболее существенное влияние на численность микроорганизмов оказывала влажность. Характерной особенностью мерзлотных почв Якутии была высокая численность бактерий по всему профилю исследованных почв, и эта тенденция не зависела от гидротермических условий года (Иванова, 2006; Иванова и др., 2008, 2014; Ivanova et al., 2008, 2014).

В пределах среднетаежной подзоны Якутии изучение почвенной микробиоты касалось преимущественно лесных палевых почв (Щелчкова и др., 1999; Иванова, 2006; Иванова и др., 2008; Ivanova et al., 2008), а подзолы и солоды в этом отношении не анализировались. Следует подчеркнуть, что исследование микробоценозов мерзлотных лесных почв, развитых на территории Якутского ботанического сада (ЯБС) в окрестностях г. Якутска, проводится впервые.

В настоящей работе впервые проведено сравнительное изучение микробных сообществ мерзлотных лесных почв Центральной Якутии.

Цель настоящего исследования – изучить количественный состав некоторых функциональных групп микроорганизмов и их распределение по профилю мерзлотных почв данной территории и выявить корреляцию между различными параметрами почв, характеризующими состояние микробного комплекса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Площадь исследованной равнинной территории Якутского ботанического сада составляла около 100 га. В геоморфологическом отношении данная территория приурочена ко второй надпойменной террасе р. Лена, в пределах расширенной части долины этой реки, называемой «Туймаада» (Горохов и др., 2020). Здесь преобладают луговые и степные ландшафты, чередующиеся по микроповышениям рельефа с разреженными остепненными сосняками, а по микропонижениям – с травяными березняками (чаранами) (Еловская, Коноровский, 1978).

Закладка почвенных разрезов, их описание и отбор образцов проведены однократно в III декаде июля 2019 г. Всего было заложено и исследовано пять почвенных разрезов мерзлотных лесных почв на территории ЯБС – 1БС-18, 2БС-18, 5БС-18, 8БС-18 и 11БС-18 (табл. 1, рис. 1).

Географические координаты: 62°01'22.0" с. ш., 129°37'32.1" в. д., абсолютная высота (H) 98.0 м над уровнем моря (н. у. м.) (рис. 1, а).

Разрез 2БС-18 заложен на мезоповышении, на участке коренного смешанного сосново-березово-лиственничного леса, напочвенный покров – кустарничково-зеленомошный. Географические координаты: 62°01'18.2" с. ш., 129°37'23.2" в. д., H – 101.2 м н. у. м. (рис. 1, б).

Таблица 1. Морфологическая характеристика мерзлотных лесных почв исследуемого района

Номер разреза	Почва	Морфологическое строение профиля
1БС-18	Солодь	A0A1 (0–4) – A1A2 (4–8) – A2 (8–24/29) – B1s, ca (24/29–42/48) – B2ca (42/48–66) – BCca (66–86) – Cca (86–104 см)
2БС-18	Подзол иллювиально-гумусово-железистый	A0 (0–4) – A0A1 (4–12) – A2 (12–16/18) – Bfe (16/18–34/37) – Bfe, h (34/37–48) – BCfe (48–75 см)
5БС-18	Перегноино-карбонатная	A0 (0–5) – A0A1 (5–8) – A (8–26) – ABca (26–37) – Bca (37–72) – BC (72–86) – C (86–102 см)
8БС-18	Палевая серая	A0 (0–3) – A0A1 (3–8) – A (8–24) – ABca (24–40) – Bca (40–62) – BC (62–100) – C (100–110 см)
11БС-18	Подзол иллювиально-железистый	A0A1 (0–3) – A1A2 (3–8) – [A1pir] (8–11) – A2 (8–28/33) – Bfe (28/33–54) – BCfe (54–72) – C (72–102 см)



Рис. 1. Морфологическое строение мерзлотной солоди (а – разрез 1БС-18), мерзлотного подзола иллювиально-гумусово железистого (б – разрез 2БС-18), мерзлотной перегнойно-карбонатной почвы (в – разрез 5БС-18) и мерзлотной палевой серой почвы (г – разрез 8БС-18).

Разрез 5БС-18 заложен на территории ЯБС, на контуре искусственного ельника разнотравно-зеленомошного. Географические координаты: $62^{\circ}01'20.5''$ с. ш., $129^{\circ}37'15.7''$ в. д., $H - 98.5$ м н. у. м. (рис. 1, в).

Разрез 8БС-18 заложен в неглубоком плоском понижении, на контуре березового кустарникового леса с разнотравно-злаковым напочвенным

покровом. Географические координаты разреза: $62^{\circ}01'28.3''$ с. ш., $129^{\circ}36'52.4''$ в. д., $H - 97.8$ м н. у. м. (рис. 1, г).

Разрез 11БС-18 заложен в нижней части склона коренного берега р. Лена в мертвопокровном сосняке. Географические координаты: $62^{\circ}01'29.0''$ с. ш., $129^{\circ}36'12.7''$ в. д., $H - 108.2$ м н. у. м.

В процессе проведенных работ применялись различные почвенные методы исследований, такие как сравнительно-географический и сравнительно-аналитический (Роде, 1971), профильно-генетический (Розанов, 1983), а состав и свойства почв определялись по общепринятым методикам (Аринушкина, 1970). Диагностика и классификация изучаемых почв осуществлялась в соответствии с критериями и принципами диагностики и классификации мерзлотных почв Якутии (Еловская, 1987).

Образцы почв для микробиологических исследований отбирали по стандартной методике с различных глубин по генетическим горизонтам, помещали в стерильные бюксы и замораживали через 1–2 ч после отбора. Методика отбора, хранения и доставки образцов исключала возможность их оттаивания и заражения посторонними микроорганизмами. Численность культивируемых микроорганизмов определяли методом посева на селективные питательные среды (Методы..., 1991). Засеянные чашки Петри инкубировали при 24 °С. Морфологию клеток культур изучали методами световой микроскопии при помощи микроскопа «Биолам Р-15» (увеличение 1250). Идентификацию грибов до родовой принадлежности проводили по определителю М. А. Литвинова (1967).

Количество бактерий, использующих органический азот (аммонифицирующих бактерий), учитывали на мясопептонном агаре (МПА); актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре (КАА); олигонитрофильных бактерий – на среде Эшби; количество грибов – на подкисленной среде Чапека для грибов. Для обнаружения и количественного учета аэробных целлюлозоразлагающих микроорганизмов использовали среду Гетчинсона и Клейтона способом посева из разведенной почвенной суспензии на агаризованную среду, поверх которой накладывали стерильный обеззоленный фильтр. Определение содержания аэробных азотфиксирующих бактерий проводили методом обрастания почвенных комочков на среде Эшби. Подсчет обросших комочков азотфиксаторами выражали в процентах. Колонии бактерий учитывали на 3–4-е сутки, грибов – на 7–10-е. Численность микроорганизмов определяли подсчетом колоний, выросших на данной среде и выражали в колониеобразующих единицах (далее КОЕ) на 1 г почвы (на 5 параллельных чашках с пересчетом на 1 г абс.-сух. почвы) (Методы..., 1991). Общую численность микроорганизмов (ОЧМ) в исследуемых почвах определяли с выведением средних значений данных по численности микроорганизмов.

Статистическая обработка материалов проводилась на 95%-м уровне значимости по стандартной программе EXCEL 2019 (пакет программ Windows).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ температуры и влажности исследуемых типов почв показал, что наиболее теплые из них – палевая серая почва (разрез 8БС-18) и подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18). Так, в горизонте С данных почв, на глубине около 100 см, температура (t) составляла 4.2–5.6 °С (табл. 2). В поверхностных органогенных горизонтах подзола иллювиально-гумусово-железистого (разрез 2БС-18) и солоди (разрез 1БС-18), в горизонтах А0 и А0А1, отмечены максимальные температуры (13.8–16.8 °С). Также нужно отметить, что из всех пяти исследуемых педонов в III декаде июля 2018 г. только в вышеуказанном подзоле (разрез 2БС-18) глубина сезонного протаивания или мощность деятельного слоя составляла менее 100 см (или 60 см). Последнее обусловлено максимальной суммарной мощностью органогенных горизонтов лесной подстилки А0 и перегнойного А0А1, равной 12 см, экранирующей проникновение положительных температур в глубь почвенного профиля. Повышенная влажность отмечалась в трех разрезах изучаемых почв, а именно в солоде (разрез 1БС-18), перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18) и палевой серой почве (разрез 8БС-18), максимально составляя 17.0–18.8 %.

Это также вполне объяснимо, так как эти почвы характеризуются в основном суглинистым гранулометрическим составом. Минимальная влажность (1.8–2.8 %) характерна для подзола (разрез 11БС-18), сформированного в нижней части пологого водораздельного склона, на песчаных отложениях под разреженным сосновым лесом.

Физико-химические свойства исследуемых типов мерзлотных почв значительно различаются и изменяются в широких пределах и полностью соответствуют их диагностике и почвенно-генетическим особенностям. Так, значения pH обычно изменяются от слабокислых в верхних почвенных горизонтах до щелочных в нижних. Содержание гумуса в минеральных горизонтах данных почв, как правило, среднее и низкое и резко убывающее, количество общего азота – низкое и также резко убывающее с глубиной (табл. 2).

Исследуемые типы мерзлотных почв формируются в условиях криоаридного климата и

Таблица 2. Физико-химические свойства мерзлотных лесных почв исследуемого района, июль 2019 г.

Горизонт	Глубина, см	t, °C	W, %	pH _{H₂O}	Гумус	N	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы				Фракция, %		CO ₂ карбо- натов, %
					%	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺	Сумма	<0.001 мм	<0.01 мм		
Солодь (разрез 1БС-18)													
A0A1	0–4	16.8	12.1	5.6	86.*	1.38	47.7	12.2	–	59.9	–	–	Н. о.
A1A2	4–8	12.8	11.5	4.9	33.*	0.61	45.0	11.8	–	56.8	–	–	»
A2	14–24	10.2	18.6	5.2	4.7	0.05	15.3	7.2	–	22.5	11.5	35.6	»
B1s, ca	28–38	6.9	11.6	8.5	4.4	0.12	19.3	6.4	–	25.7	25.7	47.9	5.1
B2ca	44–54	3.9	16.0	8.9	2.9	0.03	13.3	7.1	–	20.4	14.7	34.3	4.4
BCca	70–80	1.1	18.0	8.7	1.6	0.02	10.2	6.1	–	16.3	16.9	33.0	4.5
Cca	90–100	–	–	8.8	0.8	–	12.2	5.1	–	17.3	18.5	40.0	4.4
Подзол иллювиально-гумусово-железистый (разрез 2БС-18)													
A0	0–4	13.8	22.0	5.7	88.7*	1.11	–	–	–	–	–	–	Н. о.
A0A1	4–12	9.4	9.3	5.1	46.4*	0.86	23.1	10.9	2.8	36.8	–	–	»
A2	12–18	8.6	4.9	4.7	3.4	0.10	3.8	1.2	2.6	7.6	4.8	12.5	»
Bfe	20–30	5.2	7.2	5.6	0.8	0.07	2.2	1.7	0.2	4.1	3.2	5.3	»
Bfe, h	38–48	2.5	11.7	6.0	1.6	0.06	8.7	1.7	0.7	11.1	5.7	19.3	»
BCfe	48–58	–	–	6.3	0.3	–	3.5	1.6	0.2	5.3	4.0	7.7	»
Перегнойно-карбонатная почва (разрез 5БС-18)													
A0	0–5	10.6	15.3	6.0	91.0*	0.82	68.2	39.6	–	107.8	–	–	–
A0A1	5–8	8.9	17.0	6.4	81.3*	1.04	60.0	34.1	–	94.1	–	–	Н. о.
A	10–20	7.4	15.9	8.0	6.9	0.18	15.7	13.6	–	29.3	8.5	20.7	»
ABca	26–36	5.1	8.9	8.6	6.5	0.11	12.3	11.3	–	23.6	10.5	22.4	2.3
Bca	50–60	2.3	3.4	9.1	0.9	0.03	9.1	3.0	–	12.1	12.8	24.6	5.3
BC	75–85	–	–	8.8	0.2	0.02	7.1	3.0	–	10.1	8.2	14.9	5.3
Cca	90–100	–	–	9.1	0.1	0.01	5.0	2.0	–	7.0	4.6	5.6	2.5
Палевая серая почва (разрез 8БС-18)													
A0A1	3–8	–	–	6.1	51.6*	1.09	52.4	22.4	–	74.8	–	–	Н. о.
A	10–20	9.9	11.2	5.9	13.9	0.21	15.8	7.9	–	23.7	11.7	25.5	»
ABca	25–35	8.1	18.8	8.9	1.1	0.03	11.2	8.1	–	19.3	18.0	40.0	4.3
Bca	45–55	6.6	14.2	9.0	0.5	0.02	9.1	6.1	–	15.2	16.3	34.7	4.2
BC	75–85	5.1	15.9	8.6	0.3	0.01	11.4	8.1	–	19.5	13.3	26.4	4.2
C	100–110	4.2	14.3	9.2	0.2	–	4.0	1.7	–	5.7	3.3	6.4	4.2
Подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18)													
A0A1	0–3	–	–	6.2	29.7*	0.34	20.1	5.5	0.4	26.0	–	–	Н. о.
A1A2	3–8	14.0	5.1	5.6	3.9	0.03	5.2	1.3	0.6	7.1	4.3	7.6	»
[Apir]	8–11	12.3	1.8	5.9	7.6	0.09	9.0	2.7	0.3	12.0	5.1	8.8	»
A2	15–25	9.7	2.3	6.4	1.4	0.02	3.1	1.4	0.1	4.6	5.7	6.7	»
Bf	40–50	7.5	2.8	5.9	1.0	0.01	3.4	1.2	0.2	4.8	4.1	7.9	»
BCf	58–68	5.6	9.0	6.2	0.6	0.01	2.9	1.5	–	4.4	5.8	6.5	»
C	85–95	–	–	6.3	0.5	0.01	3.6	2.1	–	5.7	6.6	9.2	»

Примечание. Н. о. – не обнаружено, прочерк – не определено.

* Приведено значение потери при прокаливании.

поэтому характеризуются периодически промывным типом водного режима. Это во многом определяет специфику их свойств и состава. Так, даже в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) подзолов (разрезы 2БС-18 и 11БС-18) наблюдается низкое содержание обменного H⁺, а их ППК насыщен обменными катионами, что вообще не характерно для подзолов других

российских регионов. Последнее указывает на то, что в ландшафтно-климатических условиях криолитозоны Центральной Якутии процесс подзолообразования (оподзоливания) в лесных почвах проявляется в «мягкой» форме.

Гранулометрический состав изучаемых почв изменяется в широких пределах – от песчаного до тяжелосуглинистого. В почвах элювиального

Таблица 3. Численность микроорганизмов в мерзлотных лесных почвах Якутского ботанического сада, июль 2019 г.

Глубина, см	Аммони- фикаторы	Олигонитро- филы	Актиномицеты	Грибы	Целлюлозо- литики	Азот- фиксаторы, %
	КОЕ/г почвы					
Солодь (разрез 1БС-18)						
4–12	$4.0 \pm 0.2 \times 10^5$	$5.7 \pm 1.5 \times 10^4$	$1.5 \pm 0.2 \times 10^5$	$4.5 \pm 2.5 \times 10^4$	$7.9 \pm 4.0 \times 10^4$	0
12–18	$2.9 \pm 0.6 \times 10^5$	$1.3 \pm 0.4 \times 10^5$	$2.8 \pm 0.5 \times 10^5$	$2.6 \pm 0.4 \times 10^5$	$1.4 \pm 1.0 \times 10^4$	0
38–48	$1.7 \pm 0.2 \times 10^5$	$1.3 \pm 0.5 \times 10^5$	$3.8 \pm 1.2 \times 10^5$	$4.9 \pm 2.7 \times 10^4$	$8.6 \pm 5.3 \times 10^3$	0
48–58	$8.5 \pm 1.7 \times 10^4$	$6.7 \pm 1.9 \times 10^4$	$2.2 \pm 0.4 \times 10^5$	$5.1 \pm 2.6 \times 10^4$	—	—
70–80	$5.3 \pm 3.1 \times 10^4$	0	$1.1 \pm 0.5 \times 10^5$	0	—	—
90–100	$3.1 \pm 0.6 \times 10^4$	$1.2 \pm 0.61 \times 10^4$	$7.9 \pm 4.3 \times 10^4$	0	—	—
Подзол иллювиально-гумусово-железистый (разрез 2БС-18)						
4–12	$4.3 \pm 2.4 \times 10^5$	$4.5 \pm 0.3 \times 10^5$	$5.6 \pm 0.8 \times 10^5$	$1.0 \pm 0.3 \times 10^6$	$1.3 \pm 0.6 \times 10^3$	0
12–18	$1.8 \pm 0.4 \times 10^5$	$3.8 \pm 0.5 \times 10^4$	$2.3 \pm 0.8 \times 10^5$	$1.4 \pm 0.3 \times 10^5$	$4.4 \pm 2.4 \times 10^3$	0
20–30	$1.0 \pm 0.1 \times 10^5$	0	$8.4 \pm 4.6 \times 10^4$	$3.2 \pm 0.9 \times 10^4$	$2.1 \pm 1.0 \times 10^3$	0
48–58	$1.8 \pm 0.1 \times 10^5$	$3.8 \pm 0.5 \times 10^4$	$3.2 \pm 1.6 \times 10^4$	$5.4 \pm 1.4 \times 10^4$	$1.0 \pm 0.5 \times 10^3$	0
80–90	$4.5 \pm 0.5 \times 10^4$	$2.8 \pm 0.5 \times 10^4$	$3.4 \pm 1.7 \times 10^4$	$2.8 \pm 1.5 \times 10^4$	—	—
Перегнойно-карбонатная почва (разрез 5БС-18)						
5–8	$1.3 \pm 0.5 \times 10^6$	$1.0 \pm 0.5 \times 10^6$	$2.4 \pm 0.2 \times 10^6$	$2.5 \pm 0.1 \times 10^6$	$8.3 \pm 4.1 \times 10^4$	98.7
10–20	$1.7 \pm 0.5 \times 10^5$	$1.1 \pm 0.4 \times 10^6$	$1.3 \pm 0.2 \times 10^6$	$6.4 \pm 1.1 \times 10^5$	$1.8 \pm 0.9 \times 10^4$	98.0
26–36	$1.6 \pm 0.3 \times 10^5$	$3.5 \pm 0.4 \times 10^5$	$2.1 \pm 0.9 \times 10^5$	$6.5 \pm 0.6 \times 10^4$	$2.9 \pm 1.5 \times 10^3$	2.0
50–60	$1.1 \pm 0.1 \times 10^5$	$1.0 \pm 0.3 \times 10^5$	$7.7 \pm 1.1 \times 10^4$	$9.3 \pm 3.1 \times 10^4$	—	—
75–85	$2.1 \pm 0.5 \times 10^4$	$4.6 \pm 1.5 \times 10^4$	$3.6 \pm 0.5 \times 10^4$	$1.0 \pm 0.5 \times 10^4$	—	—
Палевая серая почва (разрез 8БС-18)						
10–20	$4.5 \pm 0.6 \times 10^5$	$4.0 \pm 0.5 \times 10^5$	$4.9 \pm 0.3 \times 10^5$	$8.7 \pm 0.3 \times 10^5$	$1.6 \pm 0.8 \times 10^4$	1.0
30–40	$3.7 \pm 0.2 \times 10^5$	$4.8 \pm 0.6 \times 10^5$	$4.8 \pm 0.2 \times 10^5$	$3.7 \pm 1.1 \times 10^5$	$1.9 \pm 0.9 \times 10^4$	0
45–55	$6.4 \pm 2.5 \times 10^4$	$1.5 \pm 0.2 \times 10^5$	$1.2 \pm 0.2 \times 10^5$	$2.9 \pm 0.6 \times 10^4$	$3.5 \pm 2.0 \times 10^3$	0
75–85	$4.2 \pm 0.6 \times 10^4$	$8.3 \pm 1.6 \times 10^4$	$9.5 \pm 1.6 \times 10^4$	$6.5 \pm 1.2 \times 10^4$	—	—
100–110	$4.6 \pm 1.5 \times 10^4$	$2.9 \pm 0.6 \times 10^4$	$2.3 \pm 0.6 \times 10^4$	$4.6 \pm 3.1 \times 10^4$	—	—
Подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18)						
3–8	$2.0 \pm 0.8 \times 10^5$	$6.8 \pm 0.5 \times 10^4$	$1.4 \pm 0.1 \times 10^5$	$2.1 \pm 0.4 \times 10^5$	$2.3 \pm 1.1 \times 10^4$	0
8–11	$8.1 \pm 3.1 \times 10^4$	$2.5 \pm 1.3 \times 10^4$	$6.6 \pm 1.3 \times 10^4$	$1.2 \pm 0.3 \times 10^5$	0	0
15–25	$3.6 \pm 1.3 \times 10^4$	$1.5 \pm 0.8 \times 10^4$	$2.0 \pm 0.5 \times 10^4$	$2.0 \pm 1.0 \times 10^4$	$5.2 \pm 0.5 \times 10^2$	0
40–50	$3.6 \pm 2.2 \times 10^4$	$6.2 \pm 3.2 \times 10^4$	$1.5 \pm 0.8 \times 10^4$	$3.1 \pm 0.8 \times 10^4$	—	—
72–102	$2.7 \pm 1.4 \times 10^4$	$1.1 \pm 0.5 \times 10^4$	$6.5 \pm 1.9 \times 10^4$	$1.7 \pm 1.0 \times 10^4$	—	—

Примечание. 0 – не обнаружено; прочерк – не определено.

ряда отмечается внутрипрофильная дифференциация гранулометрического состава по элювиально-иллювиальному типу, что особенно характерно для подзола (разрез 2БС-18) и солоди (разрез 1БС-18) (табл. 2).

Необходимо отметить, что почвы элювиального ряда, а именно подзолы и солоды, на второй надпойменной террасе р. Лена в окрестностях г. Якутска, нами описаны и изучены впервые. Ранее в Центральной Якутии они выделялись только на коренном берегу Лены на более высоких террасах, обычно в пределах среднего и верхнего геоморфологического уровня древней аллювиальной равнины (Еловская, 1987; Чевычелов и др., 2009; Chevychelov et al., 2009; Скрыбыкина, 2017). Результаты микробиологи-

ческого анализа в исследуемых лесных почвах Якутского ботанического сада показали, что в июле 2019 г. численность микроорганизмов в разных горизонтах колебалась от $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ до $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы (табл. 3).

Численность микроорганизмов в мерзлотных лесных почвах ЯБС (10^6 КОЕ/г почвы) уступала на три порядка мерзлотным палевым лесным почвам стационара «Спаская падь» Центральной Якутии (10^9 КОЕ/г) (Иванова, 2006). Столь незначительное количество микроорганизмов по сравнению с данными предыдущих исследований (Иванова, 2006; Иванова и др., 2008; Ivanova et al., 2008), можно объяснить тем, что лето 2019 г. оказалось крайне засушливым и жарким. Тем не менее наиболее богатой микроорганизмами

Таблица 4. Общая численность микроорганизмов (ОЧМ) в мерзлотных почвах ЯБС (2019 г.)

Номер разреза	Почва	ОЧМ, КОЕ/г почвы
1БС-18	Солодь	$5.1 \pm 1.4 \times 10^5$
2БС-18	Подзол иллювиально-гумусово-железистый	$7.3 \pm 4.2 \times 10^5$
5БС-18	Перегноино-карбонатная	$2.4 \pm 1.3 \times 10^6$
8БС-18	Палевая серая	$9.4 \pm 4.3 \times 10^5$
11БС-18	Подзол иллювиально-железистый	$2.8 \pm 0.9 \times 10^5$

оказалась перегноино-карбонатная почва (разрез 5БС-18), сформированная под ельником. В микробоценозе данной почвы доминировали мицелиальные грибы ($2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы) и актиномицеты ($2.4 \pm 0.2 \times 10^6$ КОЕ/г) в верхнем органогенном горизонте А0А1. Такое скопление мицелиальных микроорганизмов связано с высоким содержанием почвенного органического вещества (ПОВ), составляющего 81.3 %, и общего N, равного 1.04 % (см. табл. 2). Эти микроорганизмы, образуя споры, могут развиваться даже при кислом значении pH и низкой увлажненности почвы (Звягинцев, Зенова, 2001). Мицелиальные микроорганизмы играют ключевую роль в образовании гумуса в почвах, следовательно, перегноино-карбонатная почва (разрез 5БС-18) оказалась наиболее насыщенной органикой, доступной для жизнедеятельности микроорганизмов.

По общей численности микроорганизмов (ОЧМ), наиболее богатой оказалась перегноино-карбонатная почва (разрез 5БС-18) (табл. 4) с преобладанием в микробоценозе мицелиальных грибов (табл. 3), второе место занимала палевая серая почва.

В микробоценозе этой почвы также преобладали мицелиальные грибы (табл. 3), особенно на глубине 10–20 см ($8.7 \pm 0.3 \times 10^5$ КОЕ/г почвы), что можно объяснить высоким содержанием гумуса, кислым значением pH (5.9) и высокой влажностью почвы (табл. 2).

Третье место по ОЧМ занимал подзол иллювиально-гумусово-железистый (разрез 2БС-18) (табл. 4) с максимальным содержанием мицелиальных грибов ($1.0 \pm 0.3 \times 10^6$ КОЕ/г почвы) в горизонте А1А0 (табл. 3), где значение pH (5.1) также оказалось кислым, и отмечено значительное содержание ПОВ (табл. 2). На четвертом месте по ОЧМ оказалась солодь (табл. 4). В микробоценозе преобладали аммонификаторы ($4.0 \pm 0.2 \times 10^5$ КОЕ/г почвы) в верхнем горизонте А1А2 (табл. 3). Последнее место по ОЧМ занимал подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18) (табл. 4), где доминировали мицелиальные грибы ($2.1 \pm 0.4 \times 10^5$ КОЕ/г почвы) и аммонификаторы ($2.0 \pm 0.8 \times 10^5$ КОЕ/г почвы)

в одинаковых количествах в горизонте А1А2 (табл. 3).

Таким образом, общая численность микроорганизмов в изучаемых мерзлотных лесных почвах возрастала в ряду: подзол иллювиально-железистый → солодь → подзол иллювиально-гумусово-железистый → палевая серая → перегноино-карбонатная.

Аэробные целлюлозолитические микроорганизмы обнаружены в меньшем количестве (10^2 – 10^4 КОЕ/г почвы). Максимальная их численность ($8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ КОЕ/г почвы) отмечена также в перегноино-карбонатной почве (разрез 5БС-18). Определение относительного содержания аэробных азотфиксаторов методом почвенных комочков показало, что они обнаружены только в одной из исследованных почв – перегноино-карбонатной (98 %) (табл. 3). В микробоценозах остальных почв по данному методу азотфиксаторы не обнаружены.

Исследованные почвы относят к трем генетическим типам, а именно к солодям, подзолам и палевым почвам. При этом необходимо отметить, что четыре педона из пяти изучаемых разрезов данных почв формируются на рыхлых легких аллювиальных отложениях сходного минералогического состава, представленных полимиктовыми песками, и только солодь (разрез 1БС-18) развивается на лессовидных аллювиальных суглинках среднесуглинистого гранулометрического состава (табл. 2). Солодь (разрез 1БС-18) формируется главным образом под влиянием осолоделого процесса, подзол (разрез 2БС-18) – подзолистого альфегумусового, а перегноино-карбонатная (разрез 5БС-18) и палевая серая (разрез 8БС-18) почвы – дернового почвообразовательного. По численности микроорганизмов солодь также отличалась от остальных почв. Так, в ее микробоценозе обнаружено меньшее общее количество микроорганизмов ($5.1 \pm 1.4 \times 10^5$ КОЕ/г почвы), что можно объяснить особенностью формирования самой почвы в результате осолоделого процесса почвообразования. Солодь отличалась от остальных исследованных почв ЯБС более плотной структурой с выраженными процессами оглеения, что

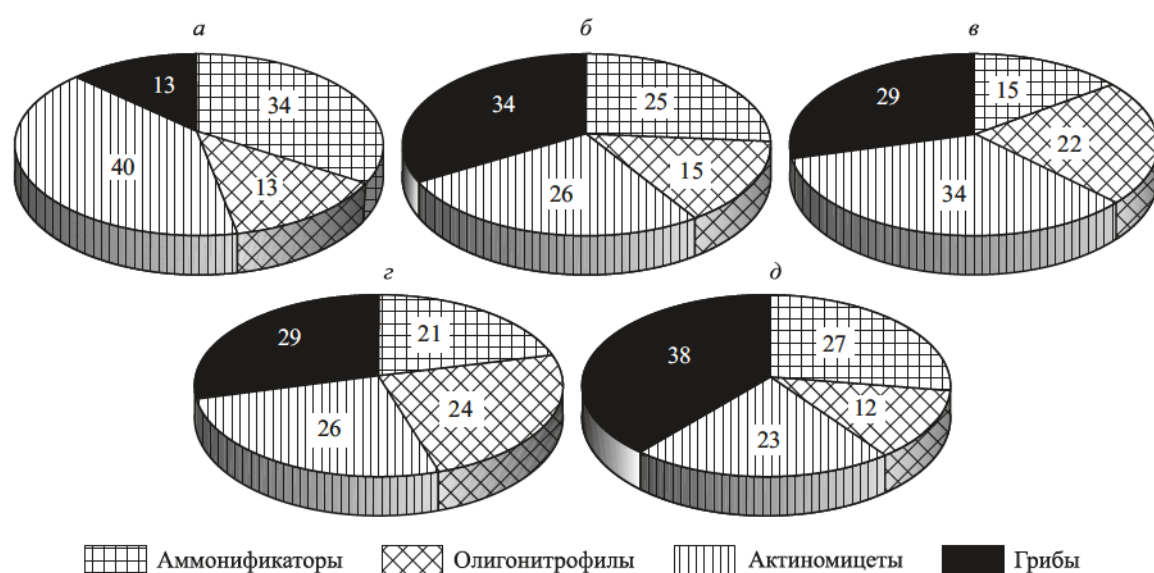


Рис. 2. Соотношение состава функциональных групп микробоценозов (%) мерзлотных почв исследуемого района (2019 г.).

а – солодь; б – подзол иллювиально-гумусово-железистый; в – перегнойно-карбонатная; г – палевая серая; д – подзол иллювиально-железистый.

предотвращало аэрацию и увлажнение почвы, следовательно, почва обладала низким плодородием и неблагоприятным водным режимом. Возможно, это стало причиной наименьшего содержания микроорганизмов. В микробоценозах четырех лесных почв (подзол иллювиально-гумусово-железистый, подзол иллювиально-железистый, перегнойно-карбонатная, палевая серая) преобладали мицелиальные микроорганизмы в верхних органогенных горизонтах, где отмечено слабокислое значение pH. И только в микробоценозе солоди преобладали аммонифицирующие бактерии в верхнем органогенном горизонте почвы. Наши результаты соответствуют данным З. И. Никитиной и А. М. Антоненко (1982), согласно которым летом в микробоценозах почв преобладают грибы, а поздней осенью – бактерии (цит. по: Гейдебрехт, 1999). Распределение микроорганизмов по профилям исследуемых лесных почв показало, что большое скопление бактерий и грибов наблюдалось в верхних органогенных горизонтах, и с глубиной их численность падала. Такие же результаты получены у наших коллег по изучению распределения микроорганизмов в мерзлотных почвах, где активность с глубиной плавно убывала, достигая минимума в надмерзлотном слое (Гродницкая и др., 2013; Grodnitskaya et al., 2013).

Микробоценозы разных типов почв содержали исследованные группы микроорганизмов в разном соотношении. Из полученных данных по численности микроорганизмов было рас-

считано процентное соотношение тех или иных групп микроорганизмов от ОЧМ в каждой почве (рис. 2).

В микробоценозе солоди (разрез 1БС-18) преобладали актиномицеты (40 %), далее располагались аммонификаторы (34 %), грибы и олигонитрофильные бактерии составляли одинаковое относительное количество (13 %) (рис. 2, а). В микробоценозе подзола разрез 2БС-18 доминировали мицелиальные грибы (34 %), аммонификаторы и актиномицеты составляли почти равное количество (25 и 26 %), меньше всего оказалось олигонитрофильных бактерий (15 %) (рис. 2, б).

В наиболее насыщенной микроорганизмами перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18) доминировали актиномицеты (34 %), грибы составляли 29 %, меньше всего оказалось аммонификаторов (15 %) (рис. 2, в). В микробоценозе палевой серой почвы преобладали мицелиальные грибы (29 %), актиномицеты составляли 26 %, олигонитрофилы – 24 % и аммонификаторы – 21 % (рис. 2, г). В микробном сообществе подзола иллювиально-железистого большую часть составляли мицелиальные грибы (38 %), затем аммонификаторы (27 %), актиномицеты (23 %) и меньшую часть – олигонитрофилы (12 %) (рис. 2, д).

Таким образом, соотношение групп исследуемых микроорганизмов в микробоценозах различных типов почв Якутского ботанического сада было разным. Преобладание тех или иных

групп микроорганизмов зависело от содержания органики (гумус и азот) и значений pH. Кроме того, соотношение групп микроорганизмов в микробоценозе может зависеть от особенностей и специфики процессов формирования почв, например, только в солоди обнаружено максимальное количество аммонифицирующих бактерий, тогда как в остальных почвах доминировали мицелиальные микроорганизмы (актиномицеты и грибы). Преобладание бактерий, использующих органические формы азота, соответствует химическим данным исследуемой почвы, где отмечено наибольшее содержание азота (табл. 2). Наибольшая численность олигонитрофильных бактерий обнаружена в палевой серой почве. В двух разрезах подзолов и перегнойно-карбонатной почве доминировали мицелиальные грибы. Как известно, микромицеты активно участвуют в разложении органических остатков, синтезе и минерализации гумуса, в круговороте азота, синтезе ферментов, аминокислот и других биологически активных соединений. По содержанию мицелиальных микроорганизмов можно судить об интенсивности процессов, определяющих биологическую активность исследуемой почвы. Так, в наиболее богатой перегнойно-карбонатной почве отмечено больше всего актиномицетов, наибольшие содержания ПОВ и обменных катионов (табл. 2). Известно, что на свойства почвы и условия произрастания растений большое влияние оказывает состав обменных катионов. Так, перегнойно-карбонатная почва была насыщена катионами кальция (62.8 смоль(экв)/кг почвы) (табл. 2), реакция среды pH была в пределах от нейтральной (6.4) до щелочной (9.0), в таких почвах коллоиды находятся в состоянии необратимых гелей и не подвергаются пептизации при избытке влаги (Середина, Спирина, 2009). Следовательно, данная почва была хорошо оструктурена и обладала благоприятными физическими свойствами.

Выросшие на среде Чапека мицелиальные грибы, в основном были представителями родов аспергилл (*Aspergillus* sp.) и пеницилл (*Penicillium* sp.) (Литвинов, 1967).

Корреляционный анализ зависимости микроорганизмов от гидротермических и химических показателей почв проведен для каждой почвы и на каждую группу исследуемых микроорганизмов. Так, в солоди отмечены высокие положительные коэффициенты корреляции численности аммонификаторов с температурой ($R = 0.97$), гумусом ($R = 0.82$) и азотом ($R = 0.79$),

Таблица 5. Коэффициенты корреляции (R) между численностью микроорганизмов и гидротермическими, физико-химическими параметрами исследуемых почв (июль 2019 г.)

Фактор	Олигонитрофилы	Актиномицеты	Грибы	
Солодь (разрез 1БС-18)				
Температура	0.97	0.61	0.45	0.51
Влажность	-0.55	-0.21	0.002	-0.55
pH _{H₂O}	-0.94	-0.38	-0.09	-0.64
Гумус	0.82	0.02	-0.13	-0.02
N	0.79	0.05	-0.07	-0.07
Подзол иллювиально-гумусово-железистый (разрез 2БС-18)				
Температура	0.85	0.75	0.89	0.81
Влажность	0.79	0.94	0.87	0.92
pH _{H₂O}	-0.57	-0.38	-0.67	-0.47
Гумус	0.93	0.99	0.95	0.99
N	0.94	0.99	0.96	0.99
Перегнойно-карбонатная почва (разрез 5БС-18)				
Температура	0.72	0.89	0.85	0.76
Влажность	0.41	0.79	0.60	0.45
pH _{H₂O}	-0.94	-0.81	-0.97	-0.97
Гумус	0.99	0.62	0.88	0.98
N	0.82	0.96	0.90	0.85
Палевая серая почва (разрез 8БС-18)				
Температура	0.93	0.89	0.93	0.89
Влажность	-0.11	0.16	0.02	-0.43
pH _{H₂O}	-0.71	-0.49	-0.64	-0.92
Гумус	0.75	0.53	0.66	0.94
N	0.78	0.58	0.70	0.95
Подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18)				
Температура	0.84	0.43	0.63	0.33
Влажность	-0.002	-0.19	0.37	0.65
pH _{H₂O}	-0.69	-0.50	-0.52	-0.24
Гумус	0.99	0.61	0.88	0.63
N	0.97	0.45	0.99	0.99

Примечание. Жирным шрифтом обозначены статистически значимые коэффициенты корреляции ($p = 0.95$).

с pH отмечена высокая отрицательная связь ($R = -0.94$) (табл. 5, разрез 1БС-18).

У остальных групп микроорганизмов (олигонитрофилов, актиномицетов, грибов) зависимость от данных параметров была отрицательной или незначительной. В микробоценозе подзола (разрез 2БС-18) наблюдалась очень высокая корреляция между численностью всех исследуемых групп микроорганизмов и параметрами почвы ($R = 0.87-1.00$), за исключением pH, где отмечена незначительная отрицательная корреляция. В отличие от подзола (разрез 2БС-18), в подзоле (разрез 11БС-18) высокие по-

ложительные коэффициенты корреляции отмечены между численностью аммонификаторов, температурой и содержанием гумуса и азота. Высокая положительная корреляционная связь отмечена у мицелиальных микроорганизмов (актиномицетов, грибов) с содержанием гумуса и азота в данной почве ($R = 0.88–0.99$).

Следует отметить, что в последней почве численность микроорганизмов, кроме грибов, не зависела от влажности и pH почвы. В перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18) обнаружена сильная положительная зависимость численности всех исследуемых микроорганизмов от температуры, количества гумуса и азота. Зависимость от влажности местами была низкой, но положительной. Также отмечена сильная отрицательная связь численности всех микроорганизмов с pH (табл. 5).

В палевой серой почве наблюдалась очень сильная корреляционная зависимость между температурой и численностью всех исследуемых групп микроорганизмов ($R = 0.89–0.93$). Количество мицелиальных грибов здесь значительно зависело от содержания гумуса и азота. Коэффициенты корреляции зависимости между грибами и pH также были отрицательными (табл. 5). При этом зависимости численности всех исследуемых микроорганизмов от влажности не наблюдалось. Нужно также отметить, что в данной почве отмечена сильная корреляционная связь численности мицелиальных грибов от всех рассматриваемых параметров, кроме влажности.

Таким образом, корреляционная зависимость численности микроорганизмов от физико-химических параметров исследуемых мерзлотных лесных почв в различных типах почв проявлялась по-разному. Так, в перегнойно-карбонатной, палевой серой и подзоле (разрез 2БС-18) наблюдалась сильная зависимость численности всех исследуемых групп микроорганизмов от температуры почвы.

В изученных лесных почвах летом 2019 г. влажность почвы не повлияла на повышение численности микроорганизмов. Зависимость количества микроорганизмов от влажности почвы наблюдали только в подзоле (разрез 2БС-18), где отмечалась более высокая влажность. Связь численности микроорганизмов с pH во всех почвах в основном была отрицательной, за исключением палевой серой почвы. В наиболее богатой микроорганизмами перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18) отмечены высокие положительные коэффициенты корреляции их

численности с температурой, количеством гумуса и азота. В большинстве случаев в исследуемых почвах количество микроорганизмов следовало за изменениями температуры, содержания гумуса и азота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мерзлотные лесные почвы Центральной Якутии, формирующиеся на территории Якутского ботанического сада, различались между собой по морфологическому строению, физико-химическим свойствам и гранулометрическому составу, а также по численности и составу почвенных микроорганизмов. По результатам анализа данных по температуре и влажности наиболее теплыми оказались палевая серая почва (разрез 8БС-18) и подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18), где на глубине около 100 см температура составляла 4.2–5.6 °С. Повышенной влажностью обладали мерзлотные почвы разрезов 1БС-18, 5БС-18 и 8БС-18, где влажность почвы достигала 17.0–18.8 %. Реакция среды в исследованных почвах менялась от слабокислой (pH 5.6–6.2) в верхних почвенных горизонтах до щелочной в нижних (pH 8.8–9.0), содержание гумуса в минеральных горизонтах – среднее и низкое, резко убывающее, а количество общего азота – низкое и также резко убывающее с глубиной.

Микробиологический анализ мерзлотных лесных почв ЯБС показал, что численность исследованных групп микроорганизмов варьировала от $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ до $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы. Общая численность микроорганизмов в изучаемых мерзлотных лесных почвах возрастала в ряду: подзол иллювиально-железистый → солодь → подзол иллювиально-гумусово-железистый → палевая серая → перегнойно-карбонатная. Наибольшее количество микроорганизмов по ОЧМ обнаружено в мерзлотных перегнойно-карбонатной и палевой серой почвах, образованных в результате дернового почвообразовательного процесса.

В зависимости от типов почв в их микробоценозах доминировали различные функциональные группы микроорганизмов: в перегнойно-карбонатной – актиномицеты (34 %), в палевой серой – мицелиальные грибы (29 %), в подзоле иллювиально-гумусово-железистом и подзоле иллювиально-железистом – мицелиальные грибы (34 и 38 %), в солоди – актиномицеты (40 %). Преобладание тех или иных групп микроорганизмов зависело от химического состава почв, а

также от особенностей их формирования. Только в солоди обнаружено максимальное количество аммонифицирующих бактерий, тогда как в остальных почвах доминировали мицелиальные микроорганизмы (актиномицеты и грибы). Солодь отличалась от остальных исследованных почв более плотной структурой и выраженными процессами оглеения. По нашему мнению, это ухудшало ее аэрацию и водные свойства и способствовало снижению общей численности микроорганизмов, но в силу того что по химическому составу в почве содержалось больше гумуса и азота, в микробоценозе преобладали аммонификаторы.

Таким образом, в микробоценозах исследуемых четырех из пяти типов почв, сформированных на рыхлых легких аллювиальных отложениях, доминировали мицелиальные микроорганизмы, а в микробоценозе солоди, развивающейся на лессовидных аллювиальных суглинках, преобладали аммонифицирующие бактерии.

Аэробные целлюлозолитические микроорганизмы обнаружены в меньшем количестве ($5.2 \pm 0.5 \times 10^2 - 8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ КОЕ/г почвы), больше всего их обнаружено также в перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18). Азотфиксаторы встречались только в перегнойно-карбонатной почве (98 %), в микробоценозах остальных почв они не обнаружены. Мицелиальные грибы были представлены двумя доминирующими родами – аспергилл и пеницилл.

По профильному распределению микроорганизмов отмечено, что они были сконцентрированы в верхних органогенных горизонтах и с глубиной их численность падала. В верхних органогенных горизонтах четырех лесных почв (подзол иллювиально-гумусово-железистый, подзол иллювиально-железистый, перегнойно-карбонатная, палевая серая) преобладали мицелиальные грибы, а в солоди – аммонифицирующие бактерии.

Зависимость численности микроорганизмов от физико-химических параметров в различных типах почв проявлялась по-разному. Однако во всех исследуемых лесных почвах количество микроорганизмов следовало за изменениями температуры, содержания гумуса и азота.

Статья подготовлена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту (теме) № 0297-2021-0027, ЕГИСУ НИ-ОКТР № АААА-А21-121012190033-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ариунушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
- Гейдебрект В. В. Распределение микроорганизмов по профилю почв разных типов: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07. М.: Изд-во МГУ, 1999. 137 с.
- Горохов А. Н., Чевычелов А. П., Николаева О. А. Особенности природных условий ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны // Пробл. регион. экол. 2020. № 2. С. 15–19.
- Гродницкая И. Д., Карпенко Л. В., Кнорре А. А., Сырцов С. Н. Микробная активность торфяных почв заболоченных лиственничников и болота в криолитозоне Центральной Эвенкии // Почвоведение. 2013. № 1. С. 67–79.
- Данилова А. А., Аржакова А. П., Аргунов А. Г. Биологические особенности аласных почв Центральной Якутии // Сиб. вестн. с.-х. науки. 2008. № 11 (191). С. 5–11.
- Еловская Л. Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 171 с.
- Еловская Л. Г., Коновровский А. К. Районирование и мелiorация мерзлотных почв Якутии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 175 с.
- Ерофеевская Л. А. Биоремедиация мерзлотных почв с использованием аборигенных микроорганизмов в условиях Якутии // Экол. и природопольз. 2014. № 3 (36). С. 77–80.
- Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
- Звягинцев Д. Г., Зенова Г. М. Экология актиномицетов. М.: ГЕОС, 2001. 256 с.
- Иванова Т. И. Структура и динамика активности микробных сообществ мерзлотных почв Центральной и Южной Якутии: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16; 03.00.07. Улан-Удэ: Бурят. гос. ун-т, 2006. 22 с.
- Иванова Т. И., Кузьмина Н. П., Чевычелов А. П. Численность микроорганизмов и уровни микробиологической активности мерзлотных антропогенно-трансформированных палевых почв Якутии // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1371–1380.
- Иванова Т. И., Кузьмина Н. П., Саввинов Д. Д. Микробоценозы мерзлотных почв долины Туймаада Центральной Якутии // Изв. РАН. Сер. биол. 2014. № 6. С. 573–585.
- Литвинов М. А. Определитель микроскопических почвенных грибов (порядок Moniliales, за исключением подсемейства Aspergillaceae). Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1967. 303 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учеб. пособие для почв. и агрохим. спец. ун-тов и с.-х. вузов / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
- Напрасникова Е. В., Макарова А. П., Данилова А. А. Биологическая активность мерзлотно-таежной палевой слабоосолоделой почвы Центральной Якутии // Биол. науки. 1988. № 7. С. 93–97.
- Никитина З. И., Антоненко А. М. Бактериальная и мицелиальная биомасса в почвах таежных экосистем Прииртышья // Биол. науки. 1982. № 7. С. 70–76.
- Полянская Л. М., Гейдебрект В. В., Степанов А. Л., Звягинцев Д. Г. Распределение численности и биомассы микроорганизмов по профилям зональных типов почв // Почвоведение. 1995. № 3. С. 322–328.
- Роде А. А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. 92 с.

- Розанов Б. Г. Морфология почв: Учеб. пособие для вузов по спец. «Почвоведение и агрохимия». М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.
- Саввинов Д. Д. Физика мерзлотных почв. Избр. тр. Новосибирск: Наука, 2013. 504 с.
- Середина В. П., Стирина В. З. Показатели и методы оценки кислотно-основных и катионообменных свойств почв: учеб. пособ. Томск: Том. гос. ун-т, 2009. 130 с.
- Скрыбыкина В. П. Подзолы Центральной Якутии // Наука и образование. 2017. № 2 (86). С. 83–90.
- Чевычелов А. П., Скрыбыкина В. П., Васильева Т. И. Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.
- Щелчкова М. В., Охлопкова А. В., Иванова Т. И. Целлюлазная активность почв Южной Якутии // Наука и образование. 1999. № 2 (14). С. 30–36.
- Щелчкова М. В., Стручкова Л. К. Микробиологическая характеристика мерзлотных степных и луговых почв Центральной Якутии // Вестн. СВФУ. 2016. № 2 (52). С. 41–52.
- Chevychev A. P., Skrybykina V. P., Vasil'eva T. I. Geographic and genetic specificity of permafrost-affected soils in central Yakutia // Euras. Soil Sci. 2009. V. 42. Iss. 6. P. 600–608 (Original Rus. Text © A. P. Chevychev, V. P. Skrybykina, T. I. Vasil'eva, 2009, publ. in Pochvovedenie. 2009. N. 6. P. 648–657).
- Grodnitskaya I. D., Karpenko L. V., Knorre A. A., Syrtsov S. N. Microbial activity of peat soils of boggy larch forests and bogs in the permafrost zone of central Evenkia // Euras. Soil Sci. 2013. V. 46. Iss. 1. P. 61–73 (Original Rus. Text © I. D. Grodnitskaya, L. V. Karpenko, A. A. Knorre, S. N. Syrtsov, 2013, publ. in Pochvovedenie. 2013. N. 1. P. 67–79).
- Ivanova T. I., Kuz'mina N. P., Chevychev A. P. The number of microorganisms and the microbiological activity of human-modified cryogenic pale soils of Yakutia // Euras. Soil Sci. 2008. V. 41. N. 11. P. 1213–1220 (Original Rus. Text © T. I. Ivanova, N. P. Kuz'mina, A. P. Chevychev, 2008, publ. in Pochvovedenie. 2008. N. 11. P. 1371–1380).
- Ivanova T. I., Kuzmina N. P., Savvinov D. D. Microbial communities of frozen soils of the Tuimaada Valley in Central Sakha // Biol. Bull. 2014. V. 41. Iss. 6. P. 500–511 (Original Rus. Text © T. I. Ivanova, N. P. Kuzmina, D. D. Savvinov, 2014, publ. in Izv. Akad. Nauk. Ser. Biol. 2014. N. 6. P. 573–585).

MICROBOCENOSSES OF PERMAFROST FOREST SOILS IN CENTRAL YAKUTIA

N. P. Kuz'mina, S. V. Ermolaeva, A. P. Chevychev

*Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Prospekt Lenina, 41, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677980 Russian Federation*

E-mail: erel1982@mail.ru, sveta_efa@mail.ru, chev.soil@list.ru

For the first time a study of microbial communities of permafrost forest soils of the Yakut Botanical Garden of the Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Russian Academy of Sciences, Siberian branch was conducted. The studied area is characterized by high soil diversity, almost all types of forest soils found in Central Yakutia are common here. It was found that in the studied permafrost soils in 2019, the number of cultivated microorganisms ranged from $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ to $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ CFU/g of soil. Humus-carbonate soil turned out to be the most saturated with microorganisms of all types of permafrost soils, and malt was the poorest. According to the total number of microorganisms, humus-carbonate and pale gray soils formed as a result of the turf soil formation process were distinguished. It was noted that microorganisms were concentrated in the upper organogenic horizons and their number decreased with depth. Mycelial microorganisms dominated in the microbocenoses of the studied four out of five types of soils formed on loose light alluvial deposits, and ammonifying bacteria prevailed in the microbocenoses of malt developing on loess-like alluvial loams. It was found that the predominance of certain groups of microorganisms depended on the chemical composition of soils, as well as on the characteristics of their formation. Mycelial fungi were mainly represented by representatives of the genera *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp. Aerobic cellulolytic microorganisms were found in the amount of $5.2 \pm 0.5 \times 10^2 - 8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ CFU/g, most of them were found in humus-carbonate soil. Nitrogen fixators were found only in humus-carbonate soil (98 %). It has been studied that the number of microorganisms with physicochemical parameters (C, N, pH, humidity) correlates in different types of soils in different ways. The change in the number of microorganisms mainly depended on the soil temperature, humus and nitrogen content.

Keywords: *permafrost forest soils, composition and properties, number and distribution of microorganisms, correlations.*

How to cite: Kuz'mina N. P., Ermolaeva S. V., Chevychev A. P. Microbocenoses of permafrost forest soils in Central Yakutia // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 22–33 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630*182.5 (571.512)

ЗАПАСЫ ФИТОДЕТРИТА И ЕГО БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТВЕННИЧНИКАХ МАЛОГО ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭВЕНКИИ

С. Г. Прокушкин, А. Е. Петренко, О. А. Зырянова, А. С. Прокушкин

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

E-mail: stanislav@ksc.krasn.ru, zyryanova-oa@ksc.krasn.ru, alcorsci@bk.ru, prokushkin@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 07.06.2022 г.

В работе отмечены основные источники фитодетрита в ненарушенных лиственничниках криолитозны Центральной Эвенкии. Рассмотрена зависимость распределения запасов фитодетрита и отдельных его компонентов от возраста древостоев (молодняки, спелые и перестойные) и типов леса. Все эти насаждения сформировались на территории малого водосборного бассейна в Центральной Эвенкии после сильных низовых пожаров в начале и в последних десятилетиях XX в. Выявлено неравномерное распределение запасов подстилки как в возрастных группах, так и типах леса. Отмечены существенные погодичные колебания поступления опада за 7-летний период наблюдений. В составе опада преобладает хвоя – 84.8–93.2 % от всей массы, тогда как ветви и кора лиственницы (*Larix Mill.*) и листья березы (*Betula L.*) составляют всего 3.0–3.2, 4.5–2.6 и 7.7–<1 % соответственно. Установлено, что по степени накопления фитодетрита в основных типах лиственничников рассматриваемого бассейна они располагаются в следующем убывающем порядке: багульниково-зеленомошные, бруснично-зеленомошные, кустарничково-зеленомошные. Запасы подстилок в них варьируют от 2.4 до 76.3 т/га. Общий запас подстилки на территории бассейна составляет 133 038 т, из них на лиственничники приходится 103 916 т с преобладанием спелых и перестойных – 4966 и 61 188 т соответственно. В лиственничниках криолитозны фитодетрит формируется в основном за счет подстилки мохово-лишайникового покрова. Роль опада с надземных органов и мортмассы корней незначительна. Во всех случаях с увеличением возраста древостоев наблюдается возрастание массы подстилки. Выявлена роль отдельных компонентов фитодетрита в депонировании биогенных элементов с существенным преобладанием в них углерода и азота и незначительным содержанием фосфора и калия как дополнительных источников минерального питания в лесных биогеоценозах криолитозны и отмечена низкая скорость их поступления в почву в процессе минерализации детрита.

Ключевые слова: *лиственничники криолитозоны, типы леса, мортмасса подстилок, компоненты, биогенные элементы.*

DOI: 10.15372/SJFS20220604

ВВЕДЕНИЕ

Для лесных почв северотаежной подзоны Сибири из-за близкого залегания многолетней мерзлоты и низких биологически активных температур характерно существенное ингибирование микробиологических процессов, замедляющее скорость разложения органических остатков (Сорокин и др., 2003, 2017; Sorokin et al., 2017; и др.). Поэтому такие экстремальные условия среды способствуют существенному накоплению

фитодетрита в лиственничниках криолитозоны. Однако, если для древостоев северотаежных лесов имеются достаточно полные сведения о запасах фитомассы (от 30 до 67 т/га, а в оптимальных условиях – до 119 т/га) (Kajimoto et al., 1999; Плешиков и др., 2002), то запасам фитодетрита уделяется несколько меньше внимания и поэтому подобных сведений недостаточно.

Запасы фитодетрита в ненарушенных лиственничниках криолитозоны якутского и эвенкийского секторов формируются в опаде и

подстилке, в основном за счет опада отмерших органов с надземных частей лесных ценозов (древостоя, подлеска, кустарников травяного и мохово-лишайникового покрова) и в мортмассе корней в почве. В них ежегодное поступление опада с надземной части достигает 1.0 – 6.7 т/га, а в отдельные годы – максимума (до 13.9 т/га) (Поздняков, 1975, 1986; Матвеев, 2006; Цветков, 2007; Брянин, Абрамова, 2017), тогда как запасы мортмассы из мохово-лишайникового покрова в этих условиях соизмеримы с общей фитомассой древостоев и варьируют от 0.2–10 до 50 т/га (Прокушкин, Зырянова, 2017).

На основании анализа имеющихся данных следует, что количество отдельных компонентов и вклад их в общий запас фитодетрита в надземной части лесных фитоценозов крайне неравнозначны и определяются типом леса, возрастом и продуктивностью древостоев.

Запасы мортмассы корней почти не известны не только для лиственничников Средней Сибири, но и для древостоев России в целом. Имеются лишь единичные сведения для почв после вырубок и пирогенной гибели древостоев, масса которых почти соизмерима с надземной фитомассой древостоя (Жукова и др., 2008). Для Центральной Эвенкии выявлено, что в неповрежденных лиственничниках количество мертвых корней изменяется в пределах 1.8–5.2 % от фитомассы физиологически активных и тонких проводящих корней (Абаимов и др., 1997), в то время как в южной тайге Красноярского края в 25-летних культурах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) она составляет только 0.9, а у лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) – 3.8 % от фитомассы тонких корней (Мухортова, 2001).

В целом общий запас фитодетрита в лиственничниках криолитозоны достигает существенных значений и выполняет ряд важных экологических и биологических функций в лесных биогеоценозах (Fukuda, 1994; Schulze et al., 1997). В частности, в нем депонирована и законсервирована на десятилетия значительная часть биогенных элементов, которые в зависимости от интенсивности и глубины минерализации и гумификации выщелачиваются из детрита, участвуя в минеральном питании лесных растений, биологическом круговороте веществ и накоплении гумуса в почвах. Однако подобные сведения для лиственничников криолитотозоны отсутствуют.

Цель исследования – оценить процессы накопления и распределения запасов фитодетрита

и его биогенных элементов в одном из малых водосборных бассейнов Центральной Эвенкии. Мортмасса отмерших деревьев (валеж и сухостой) в работе не учитывалась.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в Центральной Эвенкии, где хорошо развита сеть малых водосборных бассейнов площадью от 3.5 до 12 тыс. га и более. В связи с этим в данном регионе при характеристике насаждений, оценке запасов фитодетрита и отдельных его компонентов на больших территориях наряду с известным (стандартным) методом их исследования на пробных площадях целесообразно использовать и бассейновый подход, позволяющий одновременно оценить весь комплекс эколого-фитоценологических условий в изучаемом бассейне (Добровольский, 1999).

Объектами исследования были насаждения лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) в бассейне руч. Кулингдакан (приток р. Кочечум) площадью около 4200 га. Для определения точных координат местонахождения в бассейне площади отдельных выделов и всего водосборного бассейна использовали топографическую карту М 1 : 25 000, которая была оцифрована с помощью ГИС-технологий, в результате чего получены векторные слои с привязкой к масштабу (рис. 1).

На территории бассейна все древостой сформировались после сильных низовых пожаров 1902 г. и в последних десятилетиях XX столетия, они в основном одновозрастные (100–140 и 25–50 лет соответственно), с полнотой 0.4–0.6 и максимальным запасом от 50 до 170 м³/га. Лишь в пойме ручья и пониженных местообитаниях встречаются сохранившиеся отдельные деревья и участки лиственничников допозарной генерации в возрасте 250–360 лет. В целом наиболее продуктивные древостой (IV–V бонитетов) сформировались в средней и верхней частях коренного склона юго-западной экспозиции. На основании анализа распределения насаждений лиственницы по возрастным группам выявлено, что молодняки занимают 57.8 %, перестойные – 38.8, а спелые – лишь 3.4 % от общей площади бассейна (Прокушкин, Зырянова, 2017). Подробные геоботаническая и лесотаксационная характеристики лиственничников в пределах всего водосборного бассейна приведены нами ранее (Прокушкин, Зырянова, 2017). Отмечено, что в

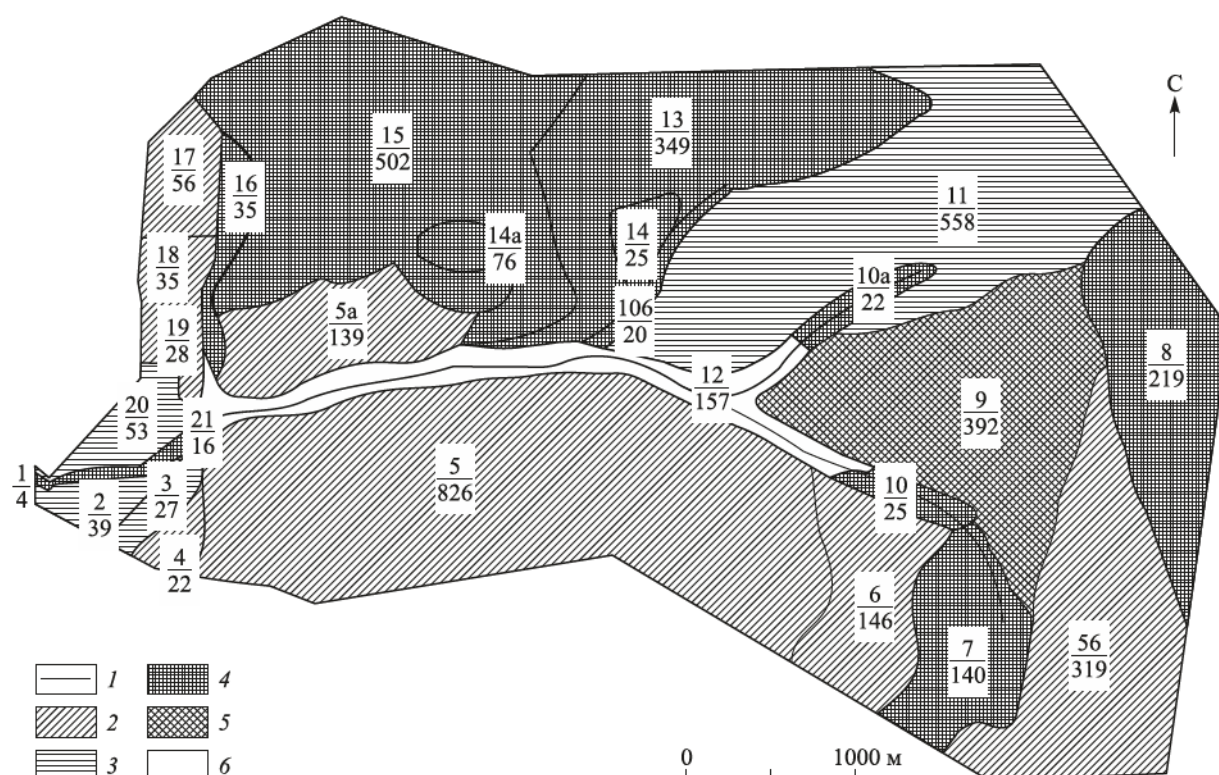


Рис. 1. Распределение насаждений и их площади на водосборном бассейне руч. Кулингдакан.

В числителе – номер выдела; в знаменателе – площадь, га. 1 – поймы ручья; 2 – молодняки (до 40 лет); 3 – спелые (121–160 лет); 4 – перестойные (> 160 лет); 5 – гари; 6 – не покрытые лесом.

бассейне преобладают кустарничково-зеленомошные, багульниково-зеленомошные и бруснично-зеленомошные группы типов лиственничников.

Оценку ежегодного поступления мортмассы опада и его качественного состава проводили в течение 7 лет на двух пробных площадях (пп) в лиственничниках багульниково-бруснично-зеленомошном и бруснично-голубично-моховом, существенно различающихся по экологическим условиям, но однотипных по составу, возрасту, густоте (полноте) и продуктивности древостоев (табл. 1).

По объективным причинам пробные площади заложены в разных водосборных бассейнах: пп 1 находится на северном коренном склоне

рассматриваемого бассейна и состоит из 12 секций площадью по 0.04 га каждая, на которых установлены 36 опадоуловителей, приподнятых над землей, размером 1 × 1 м (по 3 в каждой).

Пп 2 расположена на выположенной поверхности ступени коренного склона северной экспозиции другого водосборного бассейна и состоит из трех секций такой же (0.04 га) площади каждая, где поставлены 18 опадоуловителей – по 4–8 в секции.

Ежегодно в конце вегетации учитывались общая масса опада и его фракционный состав в каждом опадоуловителе.

При оценке поступлений опада на территории бассейна были использованы данные А. М. Матвеева (2006) и П. А. Цветкова (2007),

Таблица 1. Характеристика лиственничников на пробных площадях

№ пп	Тип леса	Возраст, лет	Средние		Полнота сомкнутость	Класс бонитета	Запас, м³/га	Сведения
			D, см	H, м				
1	Багульниково-брусничный зеленомошный	103	3.8	4.7	0.4 0.3	Vб	56	Бенькова и др., 2014; Benkova et al., 2015
2	Бруснично-голубичный моховой с подлеском из березы карликовой	105	3.2	3.4	0.3 0.2	Vб	23.4	Kajimoto et al., 2007

характеризующие особенности их распределения в зависимости от типов лиственничников в этом регионе. Оценка поступлений проведена ими по методике Н. П. Курбатского (1970).

Запасы мортмассы подстилок определялись непосредственно в каждом выделе водосборного бассейна. При этом в зависимости от особенностей распределения детрита по площади и размеров выделов методы его определения различались за счет увеличения повторности с 4–6 до 10 и более без деления на подгоризонты. Площадь учетных площадок составляла 20×25 см. Подробная методика отбора проб подстилки изложена нами ранее (Прокушкин и др., 2008а).

При оценке запасов мортмассы корней лиственницы использовано ранее полученное процентное их содержание от массы поглощающих и тонких проводящих корней (Абаимов и др., 1997; Прокушкин и др., 2008б). Для определения их содержания в почве брались монолиты площадью 20×20 и глубиной 20 см, отмывались и отбирались корни по фракциям: ростовые, проводящие и поглощающие (булавовидные, вильчатые и коралловидные).

Известно, что в процессе разложения фитодетрита для его компонентов характерен разный химический состав и в связи с этим неравномерна скорость их деструкции (Прокушкин и др., 2014; Prokushkin et al., 2014). Вследствие этого происходит и неравномерное поступление биогенных элементов из них в почву. Для оценки роли отдельных компонентов фитодетрита (хвоя, мелкие ветви, шишки лиственницы, подстилка из зелёных мхов (*Bryidae* Engl.) и мелкие корни лиственницы) в данном процессе необходимо было выявить интенсивность поступления биогенных веществ на всей территории изучаемого водосборного бассейна. Для определения скорости разложения собранные компоненты фитодетрита высушивали до воздушно-сухого состояния и определяли их абсолютно сухую массу (а. с. м.). Затем, с учетом их влажности, брались образцы из расчета 30 г а. с. м. в трехкратной повторности и помещали в нейлоновые мешочки с ячейками размером 0.2 мм, открытые с одной стороны, и закладывали в подстилку на глубину 10 см на 10 лет. Ежегодно в конце вегетации определяли а. с. м. изучаемых компонентов и содержание биогенных элементов в них.

В изучаемых фракциях фитодетрита на автоматическом элементном анализаторе (Elementar Vario Maxi CHNS analyzer, Elementar

Analysensysteme GmbH, Германия) определяли содержание общего углерода и азота, а концентрации фосфора и калия – химическим методом после сжигания в серной кислоте (Починок, 1976).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке ежегодного опада органического вещества в приспевающих древостоях лиственницы в течение 7 лет отмечены его существенные погодичные колебания: $30.61\text{--}60.02$ г/м² на пп 1 и $23.23\text{--}31.62$ г/м² на пп 2 (табл. 2). В течение всего изучаемого периода в составе опада преобладала хвоя – $84.8\text{--}93.2$ % от всей массы, тогда как ветви и кора лиственницы и листья березы составили всего $3.0\text{--}3.2$, $4.5\text{--}2.6$ и $7.7\text{--}<1$ соответственно (табл. 2).

Среднегодовой опад за 7-летний период достиг 40.8 ± 9.9 г/м² на пп 1 и 28.4 ± 3.3 г/м² – на пп 2, что составляет 0.408 и 0.284 т/га соответственно (табл. 2).

Для оценки общих поступлений опада в рассматриваемых типах лиственничников на территории бассейна использованы литературные сведения по его запасам на единицу площади (т/га) как более массовые и обобщенные для изучаемого региона. Определенные на основе этих данных максимальные поступления опада наблюдали в бруснично-зеленомошных и багульниково-зеленомошных типах лиственничников, где они достигали 3657.7 и 2395 т соответственно, в то время как в кустарничково-зеленомошных группах лиственничников, характеризующихся высоким содержанием опада на единицу площади (до 2.20 т/га), но занимающих небольшую территорию в бассейне, его запасы были минимальными и составляли всего 1344.2 т. В целом на всей территории бассейна поступления опада с надземной части фитоценозов достигали 7397 т (табл. 3).

При оценке распределения подстилок в лиственничниках отмечена особенность, характерная для насаждений криолитозоны – высокая неравномерность их мощности и запасов на территории, определяемая специфичностью гидротермических и фитоценологических условий. Запасы подстилок в бассейне существенно варьировали от 2.4 до 76.3 т/га. (рис. 2). Минимальные их запасы (от 0.2 до 10 т/га) отмечены в молодняках на 37 % территории водосбора.

На площади более 28 %, занятой спелыми и перестойными (пойменными) лиственничниками с мощным слоем сфагновых (*Sphagnopsida*

Таблица 2. Ежегодная масса опада на пробных площадях изучаемых лиственничников

Номер п/п	Масса опада, г/м ²								Фракционный состав опада, %			
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя	Хвоя Лпц*	Ветви Лпц	Кора Лпц	Листья душеки (<i>Duscheika Opiz</i>), березы (<i>Betula L.</i>)
1	37.13 ± 12.81**	60.02 ± 53.24	38.63 ± 7.75	39.19 ± 13.03	46.46 ± 17.48	33.32 ± 9.87	30.61 ± 10.69	40.8 ± 9.9	84.8	3.0	4.5	7.7
2	24.13 ± 8.38	23.23 ± 8.32	30.45 ± 9.57	30.28 ± 10.57	31.62 ± 9.64	28.88 ± 7.92	30.39 ± 11.48	28.4 ± 3.3	93.2	3.2	2.6	<1

* Лпц – лиственница.

** Среднеквадратическое отклонение.

Ошуга) и зеленых мхов (до 20–25 см), наблюдается существенное накопление подстилки – более 50 т/га (рис. 2), что обусловлено в основном высокой влажностью и низкой температурой почвы, а также длительным отсутствием пожарного воздействия.

Распределение запасов подстилок по типам леса и возрастным группам на территории бассейна также крайне неравномерно. Так, максимальное их количество отмечено в багульниково-зеленомошных лиственничниках – 59 824 т, тогда как в кустарничково-зеленомошных и бруснично-зеленомошных насаждениях оно в 1.6–1.7 раза меньше – 37 496 и 35 718 соответственно. Общий запас подстилки на территории бассейна составляет 133 038 т (табл. 4).

Преобладающая часть запаса подстилки в лиственничниках (103 916 т) приходится на спелые и перестойные лиственничники – 4966 и 61 188 т соответственно (табл. 5).

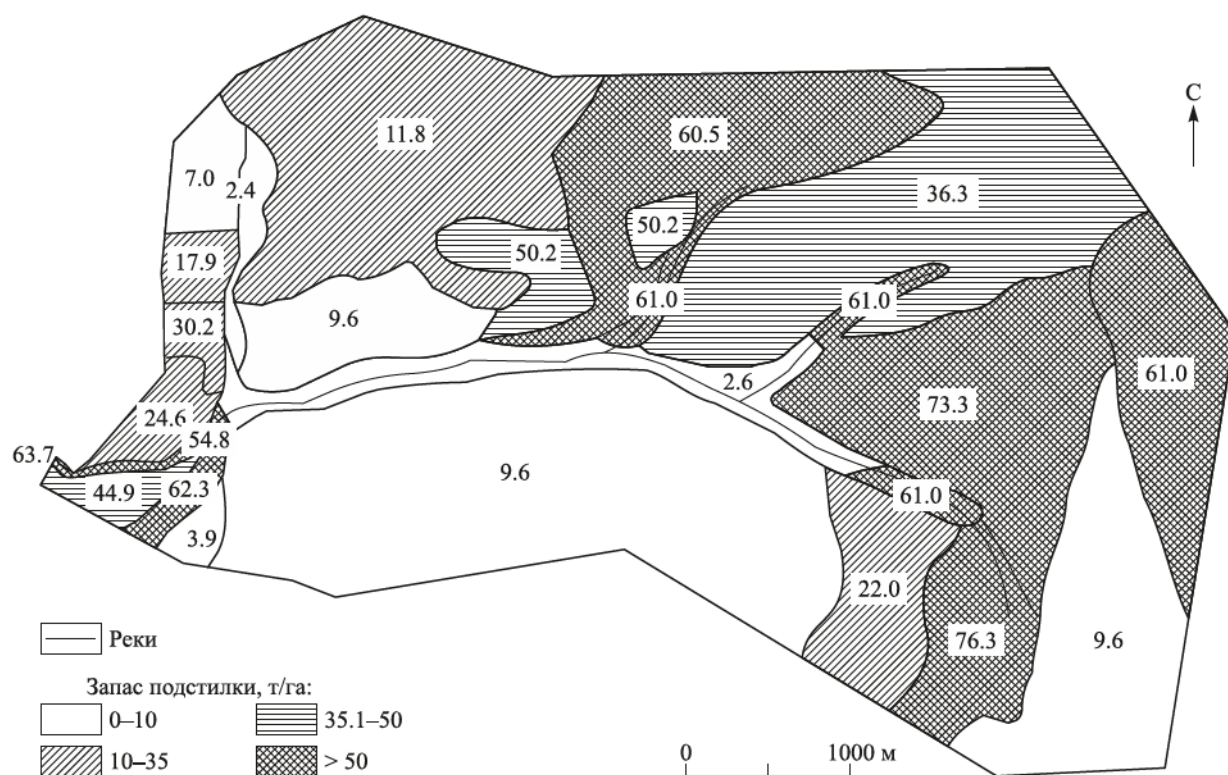
В послепожарных молодняках, несмотря на занимаемые ими большие площади, запасы подстилки составляют всего 37 762 т. Запасы подстилки на не покрытых лесом площадях (вырубки и гари) – 29 121 т (табл. 4). В среднем ее запасы в бассейне составили 37.2 ± 4.9 т/га, что свидетельствует о низкой скорости минерализации детрита на почвах с неблагоприятными гидротермическими условиями в регионе.

Другим важным, но мало изученным источником фитодетрита в лесных ценозах являются корневые системы древесных пород. В криолитозоне Центральной Эвенкии лиственница Гмелина формирует поверхностную корневую систему. При этом основная часть (до 90 %) физиологически активных и мелких проводящих корней сосредоточена в подстилке и верхнем слое почвы 0–20 см. Среди этих фракций в основном и наблюдаются процессы отмирания корней, скорость которых зависит не только от условий произрастания, но и от возраста корневых окончаний. В целом мортмасса отмерших окончаний во всех случаях невелика и составляет, как было отмечено ранее, менее 6 % от всей фитомассы мелких корней (Абаимов и др., 1997). Мортмасса мелких корней существенно различается в разных типах лиственничников: в кустарничково-зеленомошных она составляет 5.2 %, в бруснично-зеленомошных и багульниково-зеленомошных – 3.0 и 1.8 % соответственно (Прокушкин и др., 2008а). Такой градиент совпадает с изменением температуры почвы на глубине 20 см в этих типах леса (Прокушкин и др., 2002), а также объясняется

Таблица 3. Масса опада в отдельных типах лиственничников

Тип леса	Число выделов	Площадь, га	Масса*, т а.с.м./га	Масса на выделах, т
Кустарничково-зеленомошный	8	611	2.20	1344.2
Бруснично-зеленомошный	7	1956	1.87	3657.72
Багульниково-зеленомошный	9	1114	2.15	2 395.1
Всего...	24	3681		7397.02

* По данным А. М. Матвеева (2006) и П. А. Цветкова (2007).

**Рис. 2.** Распределение запасов подстилки на территории водосборного бассейна.**Таблица 4.** Запасы подстилки в отдельных типах лиственничников и на не покрытых лесом площадях

Тип леса	Число выделов	Площадь, га	Запас, т а. с. м./га	Запас в типах леса, т
Кустарничково-зеленомошный:				
лиственничник	8	376	2.41–76.34	8778
гарь	1	392	73.26	28 718
Бруснично-зеленомошный	7	1956	3.90–44.94	35 718
Багульниково-зеленомошный:				
лиственничник	9	1349	7.02–73.26	59 421
вырубка	1	157	2.57	403
Всего...	26	4230		133 038

Таблица 5. Запасы подстилки в отдельных возрастных группах лиственничников

Возрастная группа	Число выделов	Площадь, га	Запас, т а. с. м./га	Запас в группе, т а. с. м.
Молодняки (до 40 лет)	9	2129	3.90–36.34	37 762
Спелые (121–160 лет)	4	123	24.06–63.70	4966
Перестойные (старше 160 лет)	11	1429	2.41–76.34	61 188
Всего...		3681		103 916

Таблица 6. Мортмасса корней лиственницы в лиственничниках

Тип леса	Число выделов	Площадь, га	Запас*, кг а. с. м./га	Запас на выделах, т а. с. м.
Кустарничково-зеленомошный	8	611	140 ± 80	85.5
Бруснично-зеленомошный	7	1956	140 ± 80	273.9
Багульниково-зеленомошный	9	1114	100 ± 20	111.4
Всего...	24	3681		470.8

* В подстилке и слое почвы 0–20 см.

большой продолжительностью жизни мелких корней и, вероятно, энергосбережением на их новообразование в данных условиях.

В бассейне максимальные запасы фитодетрита корней отмечены в бруснично-зеленомошных и багульниково-зеленомошных типах лиственничников, а минимальные – в кустарничково-зеленомошных, что обусловлено их незначительной площадью, несмотря на высокий процент отмерших корней (до 5.2 %). В целом общий запас мортмассы корней в бассейне составляет 470.8 т (табл. 6).

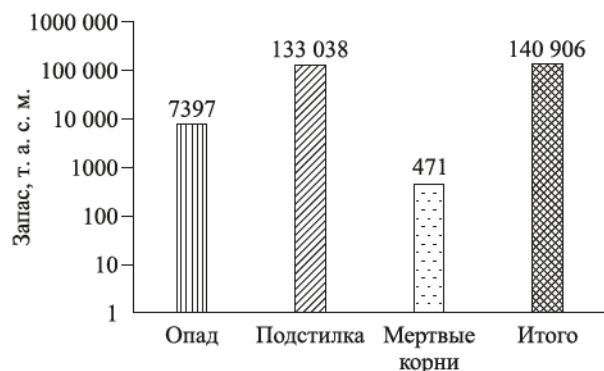
По сравнению с запасами фитодетрита опада и особенно подстилки, мортмасса корней невелика, но их роль в почвообразовании и биологическом круговороте веществ значительна, особенно после низовых пожаров в Центральной Эвенкии, вызывающих массовое отмирание корней в верхних горизонтах почвы (рис. 3).

Общий запас фитодетрита в кустарничково-зеленомошных типах лиственничников – 38 926 т, в бруснично-зеленомошных – 39 649 т, в багульниково-зеленомошных – 62 330 т, а в целом на всей территории бассейна достигает 140 906 т, из которых 7397 т опада, 133 038 т подстилки, 471 т корней (рис. 3). В этих компонентах депонируется значительная часть биогенных элементов, освобождающихся в процессе длительной деструкции мортмассы в этих

экстремальных условиях (Шибарева, 2004; Матвеев, 2006; Решетникова, 2011; Брянин, Абрамова, 2017; и др.).

Проведенный анализ химического состава показал, что в результате оттока (реутилизации) биогенных элементов из отмирающих органов растений их концентрация в отдельных компонентах фитодетрита значительно снижена. При этом минимальные концентрации углерода наблюдаются лишь в подстилке (29.9 %), в других компонентах его содержание остается на высоком уровне – от 47.0 до 50.6 % а. с. м. Концентрация азота довольно высокая во всех компонентах, лишь резко снижается только в шишках лиственницы. Концентрация фосфора и калия во всех компонентах мортмассы очень низкая и составляет для фосфора 0.03–0.14, для калия – 0.03–0.25 % а. с. м (табл. 7).

На основании выявленных концентраций углерода, азота, фосфора и калия в отдельных компонентах фитодетрита были рассчитаны их запасы в лиственничниках бассейна (рис. 4). Установлено, что в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири подстилка, как и в других лесорастительных зонах, является главным аккумулятором всех рассматриваемых биогенных элементов (Шибарева, 2004; Решетникова, 2011; и др.). В ней депонируется в основном углерод, составляющий 39 778 т (91.5 % от всего запаса

**Рис. 3.** Запасы отдельных компонентов фитодетрита в лиственничниках водосборного бассейна.**Таблица 7.** Концентрация биогенных элементов в отдельных компонентах фитодетрита багульниково-зеленомошного лиственничника, % а. с. м.

Компоненты	С	Н	Р	К
Опад:				
хвоя	47.0	0.87	0.08	0.19
ветви	50.6	0.44	0.13	0.25
Шишки Лц	48.9	0.34	0.03	0.09
Подстилка (зеленые мхи)	29.9	0.74	0.06	0.20
Корни Лц	47.0	0.67	0.14	0.24

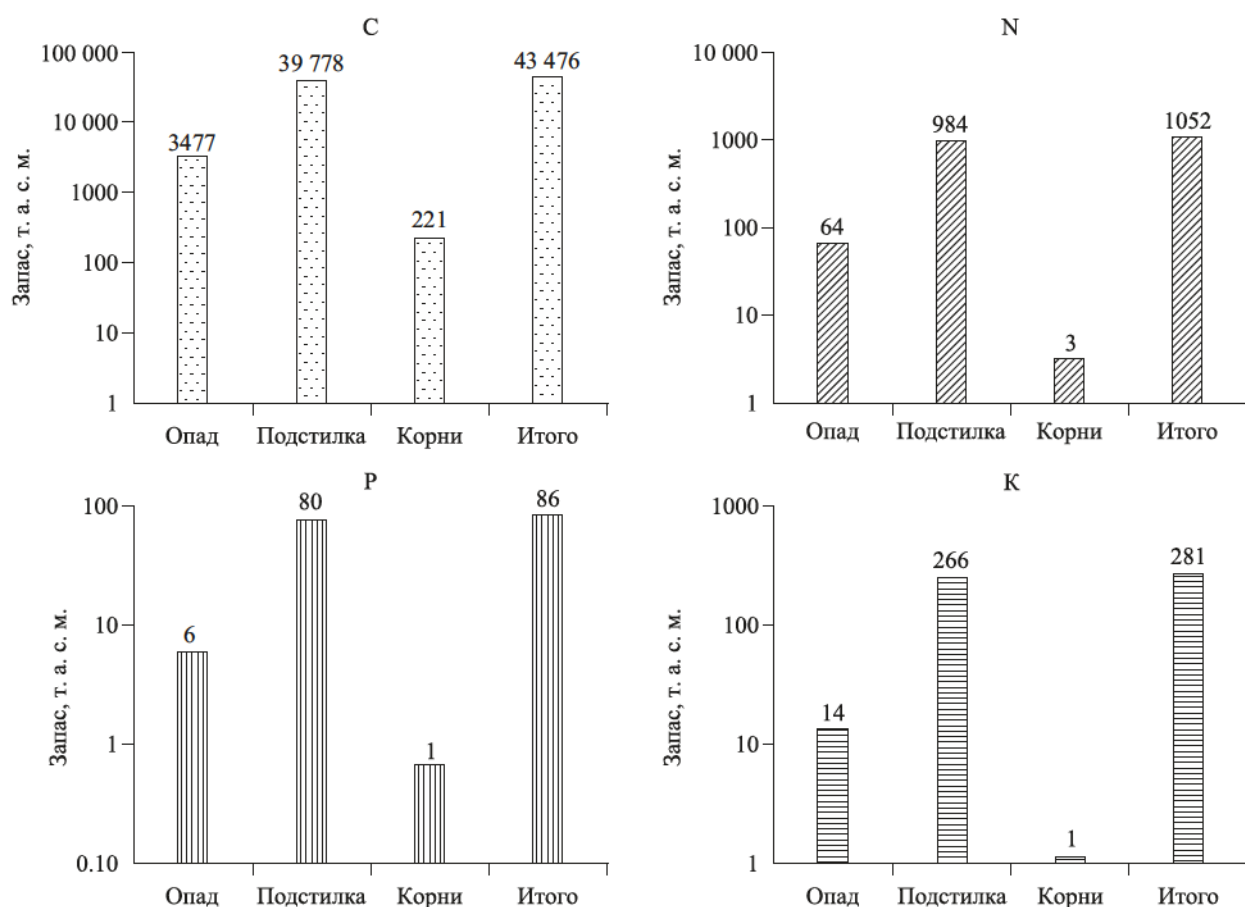


Рис. 4. Запасы углерода (C), азота (N), фосфора (P) и калия (K) в фитодетрите лиственничников.

* При расчете запасов биогенных элементов в опаде использовали их концентрацию в хвое, так как содержание последней составляет 84.8–93.2 % от всей массы опада.

са в фитодетрите в бассейне), в то же время его накопление в опаде и особенно в корнях существенно меньше и составляет 3477 т (8.0 %) и 221 т (0.51 %) соответственно.

Содержание азота в опаде, подстилке и особенно в корнях значительно меньше, чем углерода, и он также преобладает в подстилке (93.6 %). Общий запас азота в фитодетрите лиственничников на территории бассейна составляет 1052 т (рис. 4).

В мортмассе корней отмечены небольшие запасы фосфора и калия – 0.66 и 1.13 т соответственно, что составляет 0.76 и 0.40 % от их запасов в бассейне (рис. 4). В остальных компонентах фитодетрита запас этих элементов также незначительный, но несколько выше, чем в корнях и составляет 86 и 280 т для фосфора и калия соответственно.

В целом в мортмассе лиственничников в наибольшей степени депонируются углерод и азот, которые в дальнейшем являются важным дополнительным источником питания в лесных экосистемах криолитозоны.

Ранее нами в модельных опытах было установлено, что в процессе деструкции фитодетрита скорость минерализации и выщелачивания из него биогенных элементов зависит от экологических условий в фитоценозах и компонентного состава мортмассы (Прокушкин и др., 2014; Prokushkin et al., 2014). Так, в бруснично-зеленомошном лиственничнике с более высокой температурой почвы интенсивность минерализации органического вещества и поступление азота и углерода на 10–15 % выше, чем в кустарничково-сфагново-зеленомошном (табл. 8).

Анализ потерь азота и углерода из отдельных компонентов опада в течение 9 лет разложения показал, что динамика их поступления в почву на обоих участках однотипна и различается лишь по абсолютным значениям за счет разной скорости минерализации отдельных его фракций. Отмечено, что максимальное поступление азота идет из хвои, корней и ветвей (3.64–8.36 г а. с. м. /кг образца), а углерода – из веток, хвои, шишек и корней (370.43–519.49 г/кг массы образца). Минимальный же их вынос происхо-

Таблица 8. Потери азота и углерода из отдельных компонентов фитодетрита за 9 лет минерализации, г а. с. м./кг

Элемент питания	Хвоя	Ветви	Подстилка	Корни	Шишки	Итого
Кустарничково-сфагново-зеленомошный лиственничник						
N	6.03	3.64	2.54	5.33	2.17	19.71
C	370.43	469.21	155.2	392.26	353.25	1740.35
Бруснично-зеленомошный лиственничник						
N	8.36	4.29	3.16	5.58	2.86	24.25
C	459.13	519.49	163.12	418.15	425.97	1985.86

дит из подстилки (табл. 8). В связи с этим роль отдельных компонентов опада в биологическом круговороте в лиственничниках криолитозоны различна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фитодетрит на территории водосборного бассейна в Центральной Эвенкии в основном формируется за счет подстилки мохово-лишайникового покрова, роль опада и мортмассы корней незначительна. По степени накопления фитодетрита изучаемые типы лиственничников бассейна располагаются в следующем убывающем порядке: багульниково-зеленомошные (62 330 т), бруснично-зеленомошные (39 649 т), кустарничково-зеленомошные (38 926 т). В кустарничково-зеленомошных лиственничниках отмечены самые высокие (76.3 т/га) запасы подстилки на единицу площади. Во всех случаях с увеличением возраста древостоев наблюдается возрастание массы подстилки.

Таким образом, выявлены существенные различия в накоплении и распределении фитодетрита и его компонентов в отдельных типах лиственничников и их возрастных группах. При этом степень накопления мортмассы в них определяется также и гидротермическими условиями, влияющими на скорость и глубину деградации.

Среди рассматриваемых биогенных элементов в фитодетрите лиственничников преобладают углерод и азот. Количество фосфора и калия незначительно. Наиболее существенная роль в аккумуляции углерода и азота в мортмассе принадлежит подстилке, опаду хвои и корням.

В условиях криолитозоны процессы деградации фитодетрита и выщелачивания из него биогенных элементов происходят очень замедленно: за 9 лет в зависимости от экологических условий и фракционного состава мортмассы в почву в целом поступает 19.7–24.3 г/кг азота и 1740.4–1985.9 г/кг углерода.

Исследования выполнены в рамках государственного задания № 0287-2021-0010 ФИЦ КНЦ СО РАН

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А., Каверзина Л. Н. Особенности формирования и функционирования лиственничных лесов на мерзлотных почвах // Лесоведение. 1997. № 5. С. 13–23.
- Бенькова В. Е., Зырянова О. А., Шапкин А. В., Бенькова А. В., Собачкин Д. С., Симанько В. В., Зырянов В. И. Влияние пространственной мозаичности мохово-лишайникового покрова на радиальный рост лиственницы Гмелина (Центральная Эвенкия) // Лесоведение. 2014. № 4. С. 41–49.
- Брянин С. В., Абрамова Е. Р. Опад фитомассы в постпирогенных лиственничниках Зейского заповедника (Верхнее Приамурье) // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 93–101.
- Добровольский Г. В. Научное и практическое значение исследований речных бассейнов // Экология речных бассейнов: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Владимир: Владимформэкоцентр, 1999. С. 9–10.
- Жукова А. И., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Ледяева А. С. Лесное ресурсоведение. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 215 с.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Матвеев А. М. Запасы лесных горючих материалов и их географическая изменчивость в криолитозоне Средней Сибири // Геогр. и природ. ресурсы. 2006. № 4. С. 54–57.
- Мухоморова Л. В. Запас и трансформация органического вещества почвы под лесными культурами: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2001. 256 с.
- Плешиков Ф. И., Каптунов В. Я., Токмаков С. В., Беньков А. В., Титов С. Д., Первунин В. А. Структура фитомассы и годичная продукция северных лесов // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 73–91.
- Поздняков Л. К. Даурская лиственница. М.: Наука, 1975. 312 с.
- Поздняков Л. К. Мерзлотное лесоведение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 192 с.

- Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наук. думка, 1976. 334 с.
- Прокушкин С. Г., Зырянова О. А. Оценка запасов фитомассы в лиственничниках Центральной Эвенкии (на примере малого водосборного бассейна) // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 9 (132). С 122–128.
- Прокушкин С. Г., Абаймов А. П., Прокушкин А. С. Температурный режим в лиственничниках на мерзлотных почвах // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 34–45.
- Прокушкин С. Г., Абаймов А. П., Прокушкин А. С. Структурно-функциональные особенности лиственницы Гмелина в криолитозоне Центральной Эвенкии. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008а. 161 с.
- Прокушкин С. Г., Токарева И. В., Прокушкин А. С. Запас и потери водорастворимого органического вещества в малом водосборном бассейне Центральной Эвенкии // Лесоведение. 2008б. № 6. С. 30–36.
- Прокушкин С. Г., Прокушкин А. С., Сорокин Н. Д. Интенсивность разложения отдельных компонентов фитодетрита в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Изв. РАН. Сер. биол. 2014. № 1. С. 76–92.
- Решетникова Т. В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов // Вестн. КрасГАУ, 2011. № 12 (63). С. 75–82.
- Сорокин Н. Д., Прокушкин С. Г., Пащенко Н. В., Евграфова С. Ю., Гродницкая И. Д., Полякова Г. Г. Микробиологическая трансформация растительных остатков и динамика углерода в бореальных лесах Сибири // Лесоведение. 2003. № 5. С. 18–24.
- Сорокин Н. Д., Александров Д. Е., Гродницкая И. Д., Евграфова С. Ю. Микробиологическая трансформация соединений углерода и азота в лесных почвах Центральной Эвенкии // Почвоведение. 2017. № 4. С. 490–496.
- Цветков П. А. Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. Красноярск: СибГТУ, ИЛ СО РАН, 2007. 252 с.
- Шибарева С. В. Запасы и элементный состав подстилок в лесных и травяных экосистемах Сибири: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27. Новосибирск: Ин-т почвовед. и агрохим. СО РАН, 2004. 190 с.
- Benkova V. E., Zyryanova O. A., Shashkin A. V., Benkova A. V., Sobachkin D. S., Simanko V. V., Zyryanov V. I. Influence of moss and lichen spatial mosaics on radial growth of Gmelin Larch (Central Evenkia) // Contemp. Probl. Ecol. 2015. V. 8. Iss. 7. P. 854–861. (Original Rus. Text © V. E. Benkova, O. A. Zyryanova, A. V. Shashkin, A. V. Benkova, D. S. Sobachkin, V. V. Simanko, V. I. Zyryanov, 2014, publ. in Lesovedenie. 2014. N. 4. P. 41–49).
- Fukuda M. Occurrence of ice-complex (Edoma) in Lena river delta region and big Lhyavosky Island, high Arctic Eastern Siberia // Proc. Second Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1993. Tsukuba: Isebu, 1994. P. 5–13.
- Kajimoto T., Matsuura Y., Sofronov M. A., Volokitina A. V., Mori S., Osawa A., Abaimov A. P. Above- and below-ground biomass and primary productivity of a *Larix gmelinii* stand near Tura, central Siberia // Tree Physiol. 1999. V. 19. Iss. 12. P. 815–822.
- Kajimoto T., Osawa A., Matsuura Y., Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Kondo K., Tokuchi N., Hirobe M. Individual-based measurement and analysis of root system development: case studies for *Larix gmelinii* trees growing on the permafrost region in Siberia // J. For. Res. 2007. V. 12. Iss. 2. P. 103–112.
- Prokushkin S. G., Prokushkin A. S., Sorokin N. D. The intensity of phytodetrit decomposition in larch forest of the permafrost zone in Central Siberia // Biol. Bull. 2014. V. 41. Iss. 1. P. 89–97 (Original Rus. Text © S. G. Prokushkin, A. S. Prokushkin, N. D. Sorokin, 2014, publ. in Izv. RAN. Ser. Biol. 2014. N. 1. P. 76–85).
- Schulze E.-D., Wirth C., Rebmann C., Vygodskaya N. N., Kelliher E. M., Valentini R. Carbon assimilation and growth of pine forest in Central Siberia // Abstr. Workshop on spatial-temporal dimensions of high-latitude ecosystem change (The Siberian IGBP Transect), 1–7 Sept., 1997, Krasnoyarsk, Russia. Krasnoyarsk: V. N. Sukachev Inst. For. Res. Acad. Sci., Sib. Br., 1997. P. 29–30.
- Sorokin N. D., Aleksandrov D. E., Grodnitskaya I. D., Evgrafova S. Y. Microbiological transformation of carbon and nitrogen compounds in forest soils of Central Evenkia // Euras. Soil Sci. 2017. V. 50. Iss. 4. P. 476–482 (Original Rus. Text © N. D. Sorokin, D. E. Aleksandrov, I. D. Grodnitskaya, S. Y. Evgrafova, 2017, publ. in Pochvovedenie. 2017. N. 4. P. 490–496).

STOCKS OF PHYTODETRITE AND ITS BIOGENIC ELEMENTS IN LARCH FORESTS IN SMALL WATERSHEAD BASIN OF CENTRAL EVENKIA

S. G. Prokushkin, A. E. Petrenko, O. A. Zyryanova, A. S. Prokushkin

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

E-mail: stanislav@ksc.krasn.ru, zyryanova-oa@ksc.krasn.ru, alcorsci@bk.ru, prokushkin@ksc.krasn.ru

The article notes the main sources of phytodetritus in undisturbed cryolithic larch forests of Central Evenkia. The features of the distribution of phytodetritus stocks and its individual components depending on the age of forest stands (young, mature and overmature) and forest types are considered. All these stands were formed on the territory of a small drainage basin in Central Evenkia after intensive ground fires in the early and last decades of the 20th century. An uneven distribution of litter stocks was revealed both in age groups and forest types. Significant annual fluctuations in litter stocks over 7-year observation period were also noted. The composition of the litter is dominated by needles – 84.8–93.2% of the total mass, while the branches and bark of larch (*Larix* Mill.) and birch (*Betula* L.) leaves account for only 3.0–3.2, 4.5–2.6, and 7.7–< 1 %, respectively. It was established that according to the degree of accumulation of phytodetritus in the main types of larch forests of the basin under consideration, they are arranged in the following descending order: ledum green moss, red berry green moss, shrub green moss. Litter stocks in them vary from 2.4 to 76.3 t/ha. The total stock of litter in the territory of the basin is 133038 tons, of which 103916 tons fall on larch forests, with a predominance of mature and overmature – 4966 and 61188 tons, respectively. In larch forests of the permafrost zone, phytodetritus is formed mainly due to the litter of the moss-lichen cover. The role of litter from aboveground organs and root mortmass is insignificant. In all cases, with an increase in the age of forest stands, an increase in the mass of the litter is observed. The role of individual components of phytodetritus in the deposition of biogenic elements was revealed, with a significant predominance of carbon and nitrogen in them and an insignificant content of phosphorus and potassium as additional sources of mineral nutrition in forest biogeocenoses of the permafrost zone, and a low rate of their entry into the soil in the process of detritus mineralization was noted.

Keywords: *larch forests of cryolithic zone, forest types, litter mortmass, components, biogenic elements*

How to cite: Prokushkin S. G., Petrenko A. E., Zyryanova O. A., Prokushkin A. S. Stocks of phytodetrite and its biogenic elements in larch forests in small watershed basin of Central Evenkia // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 34–44 (in Russian with English abstract and references).

УДК 581.5 (571.53)

ВИДОВОЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНОСТИ СВЕТЛОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ

Т. М. Харпухаева¹, Л. В. Афанасьева¹, О. В. Калугина², М. В. Оскорбина²

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
670047, Республика Бурятия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

²Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132

E-mail: takhar@mail.ru, afanl@mail.ru, olignat32@inbox.ru, omaria-84@ya.ru

Поступила в редакцию 24.06.2022 г.

Изучено видовое разнообразие светлохвойных лесов на территории Иркутской области, загрязняемой выбросами трех алюминиевых заводов (Братского, Иркутского и Тайшетского), отличающихся технологией производства и продолжительностью воздействия на леса, где выявлено 188 видов сосудистых растений из 49 семейств, 102 вида лишайников, в том числе 26 видов эпигейных, и 13 видов напочвенных мхов. Установлено, что большая часть видов принадлежит лесному флористическому комплексу, преимущественно светлохвойной поясно-зональной группе. В биоморфологическом спектре доминируют многолетние травянистые растения, наиболее часто встречаются длиннокорневищные (30 % от всей флоры), коротко- (26 %), и стержнекорневые (13 %) растения. В экологическом спектре преобладают виды мезофитного ряда. Обнаружено, что наиболее существенную трансформацию видового состава претерпели лесные сообщества, расположенные в промышленной зоне (в радиусе 0.5 км) БрАЗа, где отмечены критический уровень загрязнения деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), их усыхание и замена на лиственные породы, а деградация травяно-кустарничкового яруса способствовала формированию на почве сплошной моховой подушки из бриума серебристого (*Bryum argenteum* Hedw.). В промышленной зоне ИркАЗа, где выявлен средний и сильный уровень загрязнения древостоев, соответственно наблюдается увеличение проективного покрытия до 70–85 % и общего числа видов сосудистых растений за счет появления луговых, лесостепных и рудеральных, при этом состав фитоценозов часто меняется в сторону преобладания фотофильных видов. При слабом уровне загрязнения древостоев изменения флористического комплекса менее выражены и статистически не значимы по сравнению с фоновыми территориями.

Ключевые слова: флористический состав, структура светлохвойных лесов, техногенные эмиссии, алюминиевое производство.

DOI: 10.15372/SJFS20220605

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие техногенных эмиссий – один из приоритетных негативных факторов, оказывающих влияние на состояние лесных экосистем Иркутской области. Здесь сосредоточены крупные промышленные центры теплоэнергетики, топливной, химической и нефтехимической промышленности, при этом ведущей отраслью экономики является металлургическая, в частности алюминиевая, промышленность. В насто-

ящее время в регионе действуют два мощных алюминиевых завода – Братский (БрАЗ) и Иркутский (ИркАЗ), выпускающие ежегодно около 1.5 млн т алюминия. При этом с выбросами БрАЗа в атмосферу поступает около 80 тыс. т загрязняющих веществ /год, с выбросами ИркАЗа около 25 тыс. т/год (Государственный доклад..., 2021). В эксплуатацию БрАЗ и ИркАЗ введены в 1960-х годах, причем на БрАЗе применяется технология Содерберга, на ИркАЗе – технология обожженных анодов. Технология Содерберга по

себестоимости значительно выгоднее, поскольку аноды в течение более продолжительного использования являются электропроводными и механически крепкими. Однако по мере их сгорания выделяется большое количество смолистых веществ, часть из которых высокотоксична для живых организмов. Технология с использованием обожженных анодов хотя и дорогая, но более эффективная в экологическом плане, поскольку израсходованные аноды заменяются предварительно обожженными анодными блоками. В 2020 г. на территории области введен в эксплуатацию еще один завод – Тайшетский (ТАЗ). Это новое высокотехнологическое предприятие, работающее по технологии обожженных анодов, с производственной мощностью 430 тыс. т алюминия.

В силу технологической специфики алюминиевые заводы поставляют в атмосферу значительное количество опасных веществ, таких как фторсодержащие соединения, диоксид серы, оксид углерода, аэрозоли тяжелых металлов, полициклические ароматические углеводороды. Например, с выбросами БрАЗа в 2020 г. в атмосферу поступило оксида углерода 63.4 тыс. т, плохорастворимых фторидов – 1.6 тыс., фтористого водорода – 1.1 тыс., пыли неорганической – 3.4 тыс., диоксида серы – 6.8 тыс., смолистых веществ – 1.4 тыс. т, с выбросами ИркаЗА – 28.4, 0.5, 0.4, 2.1 и 0.4 тыс. т соответственно (Государственный доклад ..., 2021). Официальных данных о качественном и количественном составе эмиссий ТАЗа пока нет. Токсические соединения, поступающие в составе техногенных выбросов, являются сильными стрессорами и могут привести к изменению питательного статуса растений и нарушению многих метаболических процессов. Результаты многолетнего мониторинга состояния сосновых лесов на территориях, подвергающихся воздействию техногенных эмиссий БрАЗа и ИркаЗА, свидетельствуют о наличии выраженного тренда в сторону ухудшения жизненного состояния древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (одной из основных лесобразующих пород региона), снижении ее средообразующего и продукционного потенциала (Михайлова и др., 2017, 2020; Kalugina et al., 2017). Как следствие, в ослабленных лесах отмечается изменение породного состава – снижение доли хвойных деревьев и увеличение доли мелколиственных (Калугина, Афанасьева, 2020), что может стать причиной трансформации исходного облика лесной экосистемы, изменения видового

состава напочвенного покрова, исчезновения целого ряда видов.

Несмотря на длительный период работы БрАЗа и ИркаЗА, исследований по оценке видового разнообразия лесов на территориях рассеивания техногенных выбросов ранее не проводилось. Недостаточность научных знаний о закономерностях техногенной динамики лесных экосистем бореальной зоны, где доминируют хвойные породы, чувствительные к промышленному загрязнению, определяет актуальность таких исследований.

Цель данной работы – провести анализ флористического состава и структуры светлохвойных лесов на территории рассеивания выбросов трех алюминиевых заводов Иркутской области, различающихся технологией производства и продолжительностью воздействия на леса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Натурные исследования проведены с 15 июля по 10 августа 2020 г. в светлохвойных лесах на территории четырех административных районов Иркутской области: Тайшетского, Братского, Шелеховского и Иркутского. Подробно исследовались леса, произрастающие в зонах рассеивания техногенных выбросов Тайшетского, Братского и Иркутского алюминиевых заводов. Вблизи заводов (в радиусе 0.5 км) и на удалении от них (от 1 до 100 км) закладывали пробные площади (пп) размером 25 × 25 м по принятым в лесном хозяйстве методикам, а также с использованием рекомендаций международного руководства ICP Forests (Методы..., 2002; Manual..., 2010). Закладка пп осуществлялась с учетом регионального переноса атмосферного воздуха, специфики локальной циркуляции воздушных масс, особенностей рельефа и гидросети. Всего было заложено 45 пп, расположенных в разных направлениях от заводов, из них на территории рассеивания эмиссий ТАЗа – 15 пп, БрАЗа – 18 пп, ИркаЗА – 12 пп (рис. 1).

На каждой пп были выполнены геоботанические и лесотаксационные описания по стандартным методикам (Шенников, 1964; Методы..., 2002). Номенклатуру видов давали по сводке С. К. Черепанова (1995). Уровень дефолиации крон деревьев сосны оценивали визуально, на основе учета данных не менее трех специалистов с использованием атласа W. Bosshard (1986). Для анализа жизненных форм (биоморф) растений использовали классификацию И. Г. Сереб-

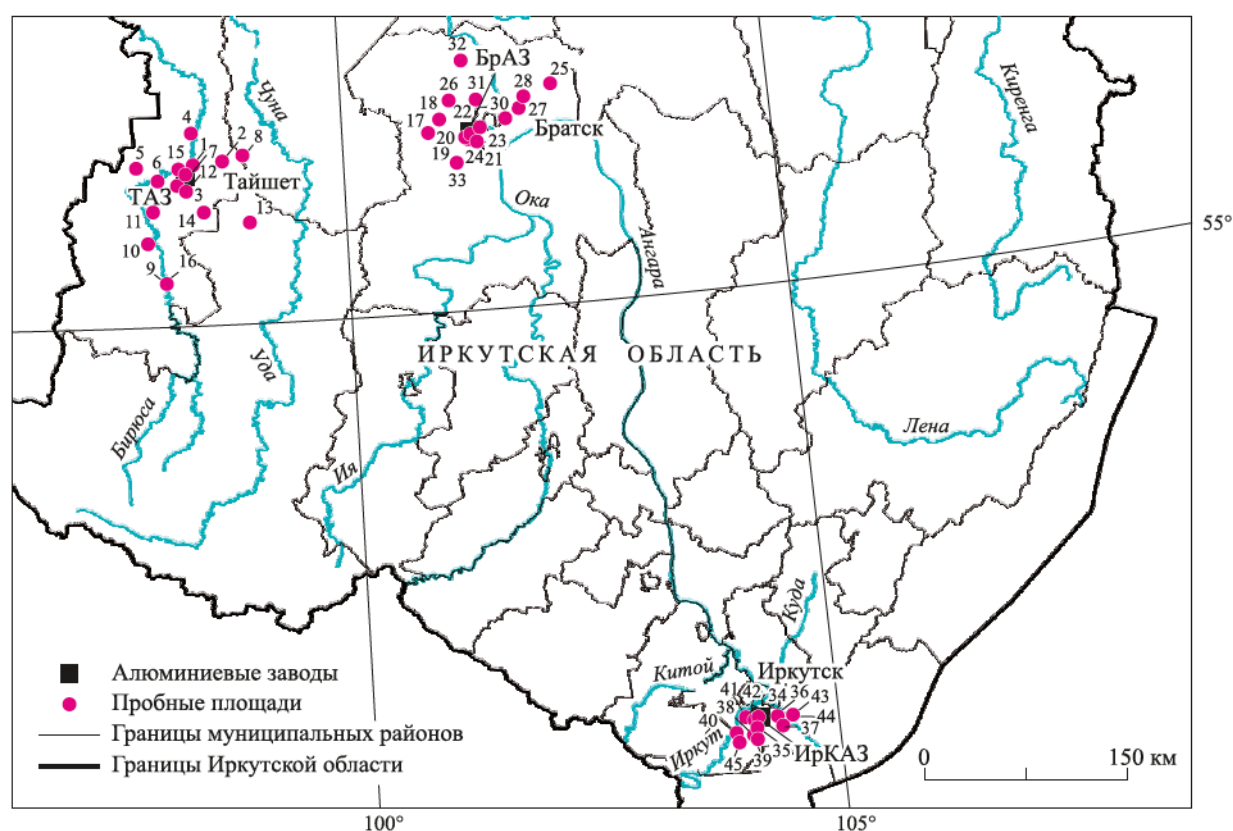


Рис. 1. Схема расположения пробных площадей на территории Иркутской области.

рякова (1962), эколого-ценотическую структуру сообществ устанавливали по общему списку видов, встречаемых в исследуемых сообществах. Обработку описаний и оценку экологических параметров местообитаний фитоценозов проводили с помощью программы IBIS (Зверев, 2007, 2020; Zverev, 2020) по разработанным Д. Н. Цыгановым (1983) шкалам основных прямодействующих факторов, а именно шкале температурного режима (T_m), континентальности (K_n) и влажности (O_m) климата, переменности увлажнения (fH), режима освещенности (L_c), увлажнения почв (H_d), их солевого режима (Tr), богатства азотом (Nt) и кислотности (R_c).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика светлохвойных лесов. Обследованные территории, входят в зону темнохвойных и лиственничных таежных лесов, в настоящее время замененных длительно производными сукцессионными рядами сосновых и лиственнично-сосновых лесов (зоны рассеивания эмиссий ТАЗа и БрАЗа), а также в зону подтаежных сосновых лесов (зона рассеивания эмиссий ИркАЗа). Они относятся к Ангаро-Саянскому флористическому району: на тер-

ритории более северных районов (Тайшетский и Братский, где расположены ТАЗ и БрАЗ соответственно) – к выделу Плато западное, южных районов (Иркутский и Шелеховский, подпадающих под перенос выбросов ИркАЗа) – к выделу Плато южное (Чепиного, 2009). Основные типы почв – серая лесная и подзолистая (Воробьева, 1999; Шишов и др., 2004).

По геоботаническому районированию обследованная территория входит в состав Средне-сибирской таежной области Ангарской южно-таежной подпровинции. При этом Тайшетский район относится к Бирюсинской подтаежно-южно-таежному елово-сосновому округу с лиственницей (*Larix Mill.*) и березой (*Betula L.*), Братский район – к Среднеангарскому подтаежно-южно-таежному елово-сосново-березовому округу, Иркутский и Шелеховский – к Иркутско-Черемховской подгорной подтаежной провинции (Бардаш и др., 2004). Большая часть обследованных лесов в Тайшетском, Шелеховском и Иркутском районах произрастает на серых лесных, в Братском районе – на литоземах и дерново-карбонатных оподзоленных почвах.

Анализ научной литературы показал, что сведения о флористическом составе светлохвойных лесов в районе исследований немногочисленны.

Исходный подзональный тип леса – темнохвойные леса – сокращают свою площадь с середины XX в. (Пармузин, 1964). В настоящее время они представлены преимущественно сосново-березовыми и сосново-осиновыми лесами. Коренные типы сообществ – елово-пихтовые леса с участием лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) – сохранились на грядах на значительном удалении от населенных пунктов.

Во флоре светлохвойных лесов выявлено 188 видов сосудистых растений из 49 семейств, 102 вида лишайников, в том числе 26 видов эпигейных, и 13 видов напочвенных мхов. В семейственно-родовом спектре сосудистых растений преобладают виды семейства сложноцветных (Asteraceae Bercht. & J. Presl) – 22 вида, лютиковых (Ranunculaceae Juss.) – 19 видов, бобовых (Fabaceae Lindl.) и мятликовых (Poaceae Barnhart) – по 15 видов в каждом. Десять крупнейших семейств (вместе с розоцветными (Rosaceae Juss.), вересковыми (Ericaceae Juss.), зонтичными (Apiaceae Lindl.), гвоздичными (Caryophyllaceae Juss.), орхидными (Orchidaceae Juss.), сосновыми (Pinaceae Lindl.)) объединяют 119 видов, или 63 % всей флоры. Во флоре преобладают представители 10 родов, из которых самые крупные – вика (*Vicia* L.) – 8 видов, полынь (*Artemisia* L.) и осока (*Carex* L.) – содержат по 4 вида, вейник (*Calamagrostis* Adans.), колокольчик (*Campanula* L.), хвощ (*Equisetum* L.), чина (*Lathyrus* L.), мытник (*Pedicularis* L.), смолевка (*Silene* L.), клевер (*Trifolium* L.) – по 3 вида, остальные – по 1–2 вида.

Видовое богатство. Число видов в описаниях на пп варьирует от 18 до 59 шт. Самыми бедными являются преобразованные фитоценозы – гари, лесные культуры и ленточные рубки. Большинство видов широко распространены и угрозы их существованию в настоящее время нет. Вместе с тем мы обнаружили один сосудистый вид – венерин башмачок настоящий (*Cypripedium calceolus* L.) и 2 вида лишайников – лобария легочная (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) и лептогиум Бурнета (*Leptogium burnetiae* C. W. Dodge), включенных в Красную книгу Российской Федерации (2008). Эти виды, а также еще 4 вида сосудистых растений занесены в Красную книгу Иркутской области (2020) с присвоением венерину башмачку настоящему 2-й (уязвимый вид) категории статуса редкости, зимолубке зонтичной (*Chimaphila umbellata* (L.) W. P. C. Barton), дремлинику чемерицевидному (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz), волчегороднику обыкновенному (*Daphne mezereum* L.) лептоги-

уму Бурнета – 3-й (редкий вид), лобарии легочной – 4-й (вид с неопределенным статусом), луносемяннику даурскому (*Menispermum dauricum* DC.) – 5-й (вид, восстанавливающийся в численности) категории.

Эколого-географический анализ показал, что флора светлохвойных лесов района исследований относится к бореальной, сочетающей признаки гумидности и аридности, что обусловлено ее переходным характером. Ядро флоры составляют виды с широкими ареалами: голарктическим, циркумполярным, евразоамериканским, евразийским (Малышев, Пешкова, 1984) (табл. 1). В то же время географическое положение обуславливает присутствие северо- и восточноазиатских видов, маньчжуро-даурских, а также центральноазиатских и охотских. Отмечено, что большая часть видов во флоре принадлежит лесному флористическому комплексу, причем по числу видов наиболее представительной является светлохвойная группа – 96 видов (51 % от общего количества видов), лесостепная – 28 видов (15 %), темнохвойная – 23 вида (12 %), лесолуговая – 17 видов (9 %), горно-степная – 11 видов (6 %). Также широко представлена во флоре группа степных видов (лесо-, горно- и собственно степные), она объединяет 41 вид, что составляет 22 % от общего количества обнаруженных видов.

Данная группа приурочена преимущественно к таким типам сообществ, как ксерофитные сосняки на южных склонах.

Флора светлохвойных лесов характеризуется относительно невысоким разнообразием биоморф, при этом преобладают многолетние виды, что является характерной особенностью бореальных флор (табл. 2).

Группа древесных и полудревесных растений включает 35 видов, из них 22 вида – кустарники и кустарнички. Травянистые растения по числу видов в 4.3 раза превосходят одревесневающие виды. Основу флоры составляют многолетние виды, приспособленные к резкой смене сезонов и экологических режимов и размножающиеся вегетативным путем. Среди травянистых биоморф доминируют группы длиннокорневищных (30 % от всей флоры), коротко- (26 %) и стержнекорневых (13 %) растений.

Нами установлено, что короткокорневищные растения приурочены в основном к лесостепным сообществам и травянистым лесам, а длиннокорневищные – к таежным сообществам.

Наличие ксерофильных местообитаний способствует проникновению в лесные сообщества

Таблица 1. Состав поясно-зональных групп (ПЗГ) флоры светлохвойных лесов на территориях Иркутской области, загрязняемых выбросами алюминиевых заводов, число видов, шт.

Тип ареала	ЛГ	ВБ	ГМ	ТХ	СХ	ПБ	ЛС	ГС	СС
Голарктический	5		2	9	13		2		
Азиатско-американский				1	4			1	
Евразоамериканский	5	1		3	27	2	10	3	1
Евразийский/евросибирский	2			6	12	5	6		1
Североазиатский				2	12		2	2	
Общезападный					5		1		
Восточноазиатский	3			1	4		2	1	
Южносибирский и монгольский	1				8	1	1	4	
Маньчжуро-даурский					3		1		
Центральноазиатский							1		
Охотский					2				
Циркумполярный	1				2		2		
Эндемичный					1				
Неопределенный				1	3				
Итого ...	17	1	2	23	96	8	28	11	2

Примечание. ПЗГ: ЛГ – луговая, ВБ – водно-болотная, ГМ – гипоарктомонтанная, ТХ – темнохвойная, СХ – светлохвойная, ПБ – пребореальная, ЛС – лесостепная, ГС – горно-степная, СС – собственно степная.

Таблица 2. Состав экологических групп и биоморфологический спектр флоры светлохвойных лесов на территориях Иркутской области, загрязняемых выбросами алюминиевых заводов, число видов, шт.

Ряд	Экологическая группа	Одревесневающие			Травянистые									всего
		деревья	кустарники	кустарнички	дк	кк	р/к	п/к	лук	стк	клк	м	п/к-чек	
Ксерофитный	Эуксерофиты	–	–	–	2	–	1	1	–	1	–	–	–	5
	Мезоксерофиты	–	2	–	4	4	–	1	1	2	–	–	–	14
Мезофитный	Ксеромезофиты	2	–	4	7	9	1	2	–	9	1	2	–	37
	Эумезофиты	9	9	1	34	23	1	1	2	9	–	1	2	92
	Гигромезофиты	2	3	–	7	11	2	–	–	2	1	1	–	29
	Мезогигрофиты	–	1	2	2	2	–	–	–	2	–	2	–	11
Всего ...		13	15	7	56	49	5	5	3	25	2	6	2	188

Примечание. дк – длиннокорневишные; кк – короткорневишные; р/к – рыхлокустовые; п/к – плотнокустовые; лук – луковичные; стк – стержнекорневые; клк – клубнекорневишные; м – малолетние (1–2-летние); п/к-чек – полукустарничек.

стержнекорневых видов. На долю одно- и двулетников приходится всего 3 % от общего количества видов травянистых растений

Экологический анализ флоры проведен на основе выделения групп растений по отношению к фактору увлажнения почвы как наиболее важному для их жизнедеятельности. Отмечено, что на обследованной территории лесорастительные условия довольно схожи по режиму увлажнения. Всего выделено шесть экологических групп, из которых самые многочисленные – группы мезофитного ряда (ксеромезофиты, эумезофиты, гигромезофиты, мезогигрофиты) –

169 видов, или 84 % всей флоры (табл. 2), что отражает климатические условия района исследований, большая часть которого находится в условиях средневлажного климата. Небольшое количество видов ксерофитного ряда (19 видов, или 10 % от флоры) указывает на распространение в настоящее время гемибореальных сосняков и лиственничников.

Для оценки экологических параметров мест произрастания светлохвойных лесов использован традиционный эколого-фитоценотический подход, позволяющий по составу видов охарактеризовать климатические и почвенные

Таблица 3. Характеристика светлосвойных лесов, расположенных в разных административных районах Иркутской области

Административные районы	Экологическая шкала								
	Tm	Kn	Om	Lc	Hd	Tr	Rc	Nt	fH
Тайшетский	6–8	9–10	8–9	3–5	12–14	5–6	5–8	4–6	4–6
Братский	7–8	9–10	8–9	3–5	12–13	5–6	5–8	4–6	4–6
Шелеховский и Иркутский	7–8	9–11	8–9	3–5	12–13	5–6	6–8	4–5	4–6

Примечание. Tm – температурный режим; Kn – континентальность климата; Om – влажность климата; Lc – освещенность; Hd – увлажнение почвы; Tr – солевой режим почвы; Rc – кислотность почв; Nt – богатство почв азотом; fH – переменность увлажнения почв.

условия. Согласно полученным результатам, обследованные фитоценозы находятся в довольно однородных условиях по экологическим параметрам. Значительная часть изученных сообществ по термоклиматической шкале варьирует от бореальных до суббореальных, по шкале континентальности климата – от материковых до субконтинентальных, по омброклиматической шкале – от субаридных до субгумидных (табл. 3).

Световой режим варьирует от полуоткрытых пространств до светлых лесов. При характеристике эдафических условий отмечено, что по шкале увлажнения почвы на пп, расположенных в зоне воздействия выбросов ТАЗа, варьируют от сухолесолуговых до сырлесолуговых, на пп в зонах воздействия выбросов БрАЗа и ИркаЗА – от сухолесолуговых до влажно-лесолуговых. По параметрам солевого режима в зоне рассеивания выбросов алюминиевых заводов преобладает тип небогатых почв.

По параметрам кислотности, переменного увлажнения и обеспеченности азотом в зоне обследования встречаются кислые и слабокислые, бедные азотом почвы с режимом увлажнения от относительно устойчивого до слабопеременного.

Состояние лесных биоценозов в окрестностях алюминиевых заводов. Поскольку расстояние от источника загрязнения, в частности от конкретного алюминиевого завода, не может служить интегральным критерием степени за-

грязнения среды, для анализа влияния техногенных выбросов на видовой состав лесных сообществ мы провели зонирование обследованных территорий по уровню загрязнения древостоев сосны как наиболее чувствительной породы. Для этого был использован кластерный анализ данных по содержанию поллютантов (сумма приоритетных ПАУ, F, S, Si, Al, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd) в хвое, в ходе которого выделены кластеры слабого, среднего, сильного и критического уровня загрязнения сосновых древостоев, отдельный кластер (фоновый) сформировали пп, на незагрязненных территориях в 80–100 км в разных направлениях от заводов. Выделенные уровни загрязнения характеризуются разными коэффициентами концентраций поллютантов в хвое и разными значениями индекса биогеохимической трансформации элементного состава хвои (табл. 4).

Подробная методика выделения кластеров приводится в нашей работе (Kalugina et al., 2021). Анализ видового состава растительности проводили на пп, сгруппированных в тот или иной кластер.

Установлено, что на фоновых пп, расположенных на территории Братского района, флористический комплекс насчитывает в среднем 26 видов сосудистых растений. Здесь произрастают слабо нарушенные леса с хорошо развитым подростом и подлеском. Эдификатором является сосна обыкновенная, образующая чи-

Таблица 4. Коэффициенты концентраций элементов-поллютантов и индекс биогеохимической трансформации элементного состава хвои (Zbt) при разных уровнях техногенного загрязнения

Уровень техногенного загрязнения древостоев	Коэффициенты концентраций поллютантов	Zbt
Слабый	$\Sigma \text{ПАУ}_{2,6} - \text{F}_{1,6} - \text{S}_{1,5} - \text{Si}_{1,4} - \text{Al}_{1,6} - \text{Fe}_{2,1} - \text{Zn}_{1,6} - \text{Cu}_{2,1} - \text{Cr}_{1,9} - \text{Pb}_{1,8} - \text{Ni}_{1,6} - \text{Co}_{1,2} - \text{Cd}_{3,1}$	24.1
Средний	$\Sigma \text{ПАУ}_{4,7} - \text{F}_{4,4} - \text{S}_{1,7} - \text{Si}_{3,1} - \text{Al}_{3,8} - \text{Fe}_{3,2} - \text{Zn}_{1,7} - \text{Cu}_{3,2} - \text{Cr}_{2,1} - \text{Pb}_{3,2} - \text{Ni}_{1,8} - \text{Co}_{1,5} - \text{Cd}_{4,8}$	39.2
Сильный	$\Sigma \text{ПАУ}_{21,5} - \text{F}_{18,6} - \text{S}_{1,9} - \text{Si}_{3,2} - \text{Al}_{5,2} - \text{Fe}_{3,3} - \text{Zn}_{1,9} - \text{Cu}_{7,3} - \text{Cr}_{2,6} - \text{Pb}_{3,5} - \text{Ni}_{2,2} - \text{Co}_{1,9} - \text{Cd}_{5,7}$	78.8
Критический	$\Sigma \text{ПАУ}_{42,9} - \text{F}_{54,7} - \text{S}_{4,8} - \text{Si}_{3,6} - \text{Al}_{16,4} - \text{Fe}_{3,5} - \text{Zn}_{2,1} - \text{Cu}_{7,6} - \text{Cr}_{2,9} - \text{Pb}_{4,1} - \text{Ni}_{2,5} - \text{Co}_{2,2} - \text{Cd}_{9,6}$	156.9

стые или смешанные насаждения, в которых высока доля лиственницы сибирской и березы белой (*Betula alba* L.). В примеси встречаются сосна сибирская кедровая – сибирский кедр (*Pinus sibirica* Du Tour), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.), рябина (*Sorbus sibirica* Hedl.), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.). Древостой, как правило, разновозрастные, одно-, двухъярусные, средние по высоте, полнота варьирует в пределах 0.7–0.8, сомкнутость крон – 0.7–0.8, уровень дефолиации крон спелых деревьев сосны не превышает 25 %. Хорошо развит подрост сосны и осины, подрост кедра, лиственницы, пихты и ели встречается преимущественно средних возрастов и элиминируется среди подраста старших возрастов. Кустарниковый ярус хорошо развит и представлен можжевельником сибирским (*Juniperus sibirica* Burgsd.), багульниковым болотным (*Ledum palustre* L.), жимолостью Палласа (*Lonicera pallasii* Ledeb.), спиреей средней (*Spiraea media* Franz Schmidt), шиповником иглистым (*Rosa acicularis* Lindley). Проективное покрытие кустарничков не превышает 1 %, преобладает брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.). Травянистый покров маловидовой, невысокий, проективное покрытие 30–40 %, представлен таежными видами светлосвойной группы, такими как купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), княжик сибирский (*Atragene sibirica* L.), ветреник косматый (*Anemonastrum crinitum* (Juz.) Holub), ирис русский (*Iris ruthenica* Ker-Gawler), ортилия однобокая (*Orthilia secunda* (L.) House), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), осока (*Carex* sp.), костяника каменистая (*Rubus saxatilis* L.), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), чина приземистая (*Lathyrus humilis* (Ser.) Sprengel), линнея северная (*Linnaea borealis* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt), купальница азиатская (*Trollius asiaticus* L.), грушанка мясо-красная (*Pyrola asarifolia* Michaux), фиалка двухцветковая (*Viola biflora* L.), горошек байкальский (*Vicia baicalensis* (Turcz.) B. Fedtsch.), мерингия бокоцветковая (*Moehringia lateriflora* (L.) Fenzl) и др. Мхи и лишайники встречаются мозаично, проективное покрытие не превышает 5 %. Из мхов в напочвенном покрове преобладают гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.), ритидиум морщинистый (*Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb.), политрихум сжатый (*Polytrichum strictum* Brid.), аулаком-

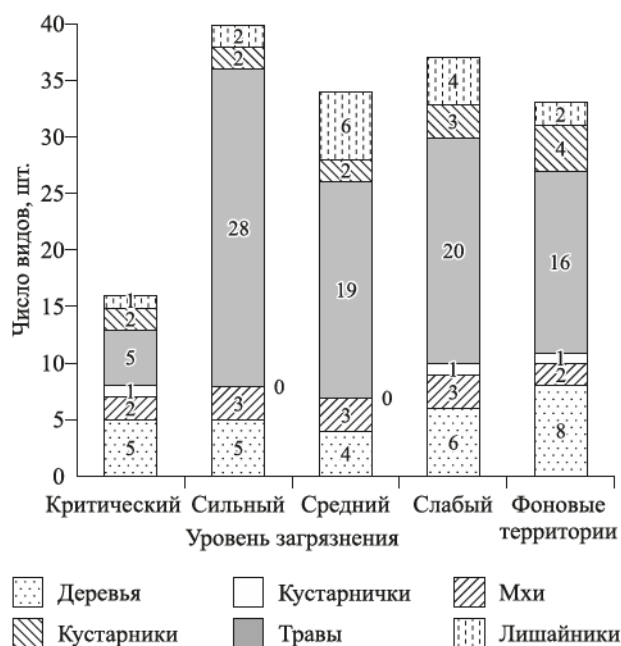


Рис. 2. Соотношение биоморф растений на пп, характеризующихся разным уровнем техногенного загрязнения выбросами БрАЗа.

Цифрами отмечены достоверные различия при $p \leq 0.05$.

ниум болотный (*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr.). В травянистых лесах из лишайников встречаются пельтигера пупырчатая (*Peltigera aphthosa* (L.) Willd.), п. собачья (*P. canina* (L.) Willd.), п. двупалая (*P. didactyla* (With.) J. R. Laundon) и п. рыжеватая (*P. rufescens* (Weiss) Humb.), кладония темно-мясная (*Cladonia amaurocraea* (Flörke) Schaer.), к. крыночковидная (*C. pyxidata* (L.) Fr.), к. оленья (*C. rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg.) и к. звездчатая (*C. stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda), причем часто на внеярусных элементах, таких как валежник, пни и замшелые камни.

Видовой состав и лесотаксационные характеристики на пп слабого уровня загрязнения достоверно не отличаются от фоновых территорий (рис. 2).

При среднем уровне загрязнения наблюдается увеличение уровня дефолиации крон спелых деревьев сосны до 35–45 %, полнота древостоев варьирует в пределах 0.6–0.7, сомкнутость крон не превышает 0.6.

Соотношение биоморф близко к фоновым, но при этом в формировании фитоценозов активное участие принимают лесостепные и горно-степные виды – дендрантема Завадского (*Dendranthema zawadskii* (Herbich) Tzvel.), троммсдорфия крапчатая (*Trommsdorffia maculata* (L.) Bernh.), соссурия мелкоцветковая (*Saussurea parviflora* (Poir.) DC.), прострел жел-

товатый (*Pulsatilla flavescens* (Zucc.) Juz.), большеголовник сафлоровидный (*Stemmacantha carthamoides* (Willd.) Dittrich), борщевик расщепленный (*Heracleum dissectum* Ledeb.), бубенчик коронопослистный (*Adenophora coronopifolia* Fisch.), чина приземистая, ожика волосистая (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), кошачья лапка двудомная (*Antennaria dioica* (L.) Gaertn.), скерда Бунге (*Crepis bungei* Ledeb.), зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa* (L.) Moench), смолевка поникающая (*Silene nutans* L.). На освещенность и нарушенность почвенного покрова указывает наличие таких фотофильных видов, как кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L.), вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin.) и в. пурпурный (*C. purpurea* (Trin.) Trin.), иван-чай узколистый (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.). Среди разнотравья с высокой степенью постоянства встречаются костяника каменистая, подмаренник северный (*Galium boreale* L.), герань луговая (*Geranium pratense* L.), овсяница ленская (*Festuca lenensis* Drobv.), грушанка мясо-красная и чина приземистая. Проективное покрытие напочвенного покрова может достигать 50–60 %.

При сильном уровне загрязнения уровень дефолиации крон деревьев сосны достигает 50–55 %, сомкнутость их крон снижается до 0.4–0.5 при полноте 0.5–0.7. Древостой разновозрастные, двухъярусные, с развитым подлеском и кустарниковым ярусом. Первый древесный ярус представлен отдельными приспевающими деревьями сосны и лиственницы, второй ярус формируют разновозрастные деревья сосны, березы, осины. Подрост хвойных деревьев единичен, сильно угнетен, лиственных (береза, осина) – многочислен и благонадежен. В подлеске присутствуют ольха кустарниковая (*Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouz.) и ива тарайкинская (*Salix taraiensis* Kimura). Кустарниковый ярус с проективным покрытием 10 % представлен жимолостью Палласа, кизильником одноцветковым (*Cotoneaster uniflorus* Bunge), шиповником иглистым, багульниковым болотным, спиреей средней, малиной обыкновенной (*Rubus idaeus* L.), смородиной колосистой (*Ribes spicatum* Robson).

В биоморфологическом спектре возрастает доля травянистых растений. Доминируют виды светлехвойной группы, однако по сравнению с фоновыми и слабо загрязненными территориями, увеличивается доля представителей семейства бобовых, появляются чина Гмелина (*Lathyrus gmelinii* Fritsch), горошек однопарный (*Vicia unijuga* A. Br.) и г. жилковый (*V. venosa*

(Willd. ex Link) Maxim.). Число видов сосудистых растений в описаниях варьирует от 18 до 42, проективное покрытие 50–65 %. Вдоль дорог и крупных тропинок часто встречаются рудеральные виды – полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), липучка (*Lappula* sp.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), иван-чай узколистый, клевер ползучий (*Amorpha repens* (L.) C. Presl.).

В промышленной зоне БрАЗа, где выявлены максимальные концентрации элементов-поллютантов в хвое сосны и наибольшие показатели индекса биогеохимической трансформации ее элементного состава, превышающие фоновые значения более чем в 12 раз, соответствующие критическому уровню загрязнения деревьев сосны, зафиксировано самое низкое число видов сосудистых растений (13), 2 вида эпигейных мхов и 1 вид лишайника. Древесный ярус сильно угнетен, представлен отдельно стоящими деревьями сосны и лиственницы. Преобладает загущенный молодняк, пневая и корнеотпрысковая поросль лиственных пород – березы, осины, ивы Бебба (*Salix bebbiana* Sarg.). Дефолиации крон деревьев сосны достигает 75–80 %, отмечена суховершинность. Дехромация, проявляющаяся в виде некрозов хвои, охватывает 50–70 % длины хвоинок. Подрост хвойных (ель, лиственница) единичен, в сильно угнетенном состоянии, на хвое площадь некрозов составляет 50–70 %. Кустарники и кустарнички также единичны, угнетенные, с малочисленными пораженными некрозами листьями. Травяно-кустарничковый покров сильно трансформирован, о чем свидетельствуют элиминация травянистого яруса и зарастание почвы мхом. Мощный эпигейный моховой покров (проективное покрытие 100 %) представлен бриумом серебристым с вкраплениями кукушкиного льна (*Polytrichum commune* Hedw.). Изредка встречаются первичные слоевища лишайника кладонии (*Cladonia* sp.), поверх мхов разрастаются маты цианобактерий (Cyanobacteria). Внеярусные элементы, такие как валежник, поросли теми же видами мха. В моховой подушке встречаются лишайники: кладонии (первичные слоевища), гипогимния вздутая (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), имшаугия бледнеющая (*Imshaugia aleurites* (Ach.) S. L. F. Meyer), флавопунктелия соредия (*Flavopunctelia sorodica* (Nyl.) Hale), с деформированными талломами и без вегетативных органов размножения. Подобные эффекты для ряда видов мохообразных отмечались в импактной зоне медеплавильного производства (Трубина, Дьяченко, 2020). При этом причиной этого авто-

ры считают сильное подкисление почв компонентами техногенных выбросов, приводящее к угнетению травянистого яруса. В нашем случае резкого изменения кислотности почв в промзоне БрАЗа не отмечалось, тогда как концентрация растворимых фторидов в почвенном растворе возрастала в 8.5 раз по сравнению с фоновыми концентрациями, что, вероятно, и стало причиной угнетения травяного покрова. Увеличение покрытия напочвенных мхов в промзоне БрАЗа может быть связано с существенным снижением числа и обилия видов травяно-кустарничкового яруса, поскольку между мхами и сосудистыми растениями существует конкуренция за ресурсы (Turetsky et al., 2012; Soliveres et al., 2018).

На фоновых пп, расположенных в зоне воздействия выбросов ТАЗа, часто встречаются лесные сообщества, измененные в результате несанкционированных рубок и пожаров (Леса..., 1997). В составе древесного яруса доминируют сосна и береза, лиственница встречается редко. Древостой средневозрастные и приспевающие, двухъярусные, среднеполнотные (0.6–0.7), сомкнутость крон 0.6–0.8, уровень дефолиации крон деревьев сосны не превышает 25 %. Подрост благонадежный: преобладает сосна, хорошо возобновляются лиственница, ель, рябина, часто присутствуют береза, осина и пихта. Число видов сосудистых растений на пп варьирует от 24 до 34. Кустарники встречаются отдельными особями, проективное покрытие не превышает 5 %. Травянистый ярус хорошо развит, проективное покрытие достигает 50–65 %, преобладают виды светлехвойного таежного комплекса, доминантами являются хвощ лесной, костяника каменистая, грушанка мясо-красная, ортилия однобокая, вороний глаз муточатый (*Paris verticillata* Bieb. emend Ledeb.) и папоротник орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.). Моховый покров представлен тремя видами – ритидиум морщинистый, гилокомиум блестящий, дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum* Sw.), проективное покрытие – до 10 %. Следует отметить, что большая часть обследованных пп в Тайшетском районе по результатам кластерного анализа объединилась в фоновый кластер. Вероятно, это обусловлено непродолжительным периодом работы завода и высокотехнологичным процессом производства алюминия, при котором в атмосферу поступают незначительные количества токсичных выбросов.

При слабом уровне загрязнения лесотаксационные характеристики древостоев и видовой

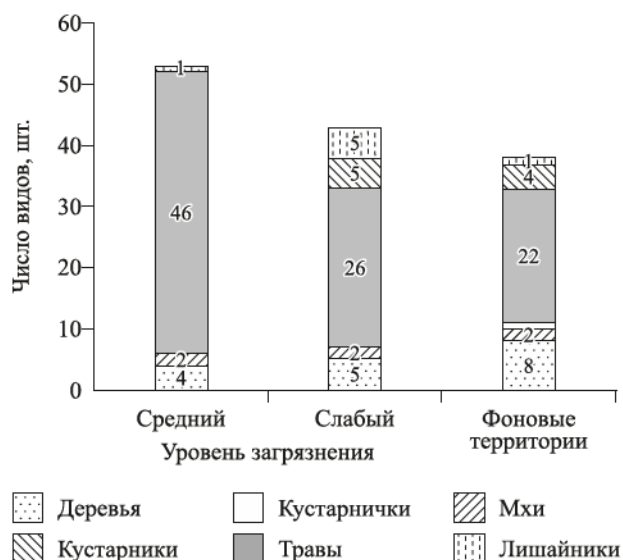


Рис. 3. Соотношение биоморф растений на пп, характеризующихся разным уровнем техногенного загрязнения выбросами ТАЗа.

Цифрами отмечены достоверные различия при $p \leq 0.05$.

состав растительности сопоставимы с фоновыми (рис. 3).

При этом на некоторых пп отмечается увеличение доли злаков в травянистом ярусе, особенно вейника Лангсдорфа и в. короткого (*Calamagrostis korotkyi* Litv.). Мохово-лишайниковый покров составляет 10 %. Похожие тенденции по увеличению участия злаков в травостое после осветления в лесных фитоценозах отмечались на Урале (Воробейчик и др., 2014; Беляева, 2000).

На пп, расположенной в промышленной зоне ТАЗа (в радиусе 0.5 км от завода), где выявлен средний уровень загрязнения, древостой среднеполнотные, одно-двухъярусные, сосна содоминирует с березой, в подросте преобладает береза. Уровень дефолиации крон деревьев сосны увеличивается до 35–40 %. Вследствие вырубок в напочвенном покрове присутствуют как таежные, так и луговые и лесостепные виды. Здесь встречаются редкие виды – борец вьющийся (*Aconitum volubile* Pall. ex Koelle), венерин башмачок настоящий, в. б. капельный (*Cypripedium guttatum* Sw.), и виды, имеющие широкое распространение, таежные – борец бородатый (*Aconitum barbatum* Pers.) и северный (*A. septentrionale* Koelle), водосбор сибирский (*Aquilegia sibirica* Lam.), лилия саранка (*Lilium pilosiusculum* (Frey) Mischz.), купена душистая (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce), горошек однопарный, фиалка двухцветковая; лесостепные и опушечные – зопник клубненосный,

подмаренник северный, прострел желтоватый, костяника каменистая, кровохлебка лекарственная, красоднев малый (*Heimerocallis minor* Miller.). В результате изреживания крон во флористическом комплексе напочвенного покрова отмечено появление синантропных и луговых видов – чина приземистая, нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare* Lam.), подорожник большой (*Plantago major* L.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), клевер средний (*Trifolium medium* L.), к. луговой (*T. pratense* L.) и к. ползучий, рещок волосистый (*Agrimonia pilosa* Ledeb.) и др. Вдоль дорог, ведущих к заводу, плотной стеной разрослись тысячелистник заостренный (*Achillea acuminata* Ledeb.), череда трехраздельная (*Bidens tripartita* L.), василек скабиозовый (*Centaurea scabiosa* L.), полынь обыкновенная. Проектное покрытие может достигать 70–85 %.

На территории воздействия выбросов ИркаАЗа на фоновых в древесном ярусе доминирует сосна при незначительном участии березы и осины, поскольку лесные фитоценозы относятся к южной подтайге. Лиственница встречается редко. Древостои разновозрастные, двухъярусные, среднеполнотные, сомкнутость крон 0.7–0.8. Уровень дефолиации крон может достигать 30 %. Во флористическом комплексе насчитывают 20–25 видов сосудистых растений. Проектное покрытие травяно-кустарничкового яруса 40–45 %. Травянистый покров маловидовой, представлен таежными видами светлехвойной группы, такими как линнея северная, майник двулистный, купена душистая, ортилия однобокая, седмичник европейский, хвощ лесной, купальница азиатская, грушанка мясо-красная, фиалка двухцветковая, горошек байкальский и др. В окрестностях с. Моты, расположенного в 60 км от завода, произрастают редкие виды орхидных: дремлик чемерицевидный (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz) и мякотница однолистная (*Malaxis monophyllos* (L.) Sw.).

При слабом уровне загрязнения флористический комплекс не претерпевает существенных изменений по сравнению с фоновыми территориями. Можно отметить увеличение количества подраста мелколиственных видов – осины и березы высотой от 1 до 3.5 м, а также подраста сосны высотой от 1.5 до 3 м. Число сосудистых растений варьирует от 18 до 24 видов (рис. 4).

При среднем уровне загрязнения дефолиация крон деревьев сосны достигает 40–50 %. Полнота древостоев и сомкнутость крон снижается до 0.6. В кустарниковом ярусе присутствуют родо-

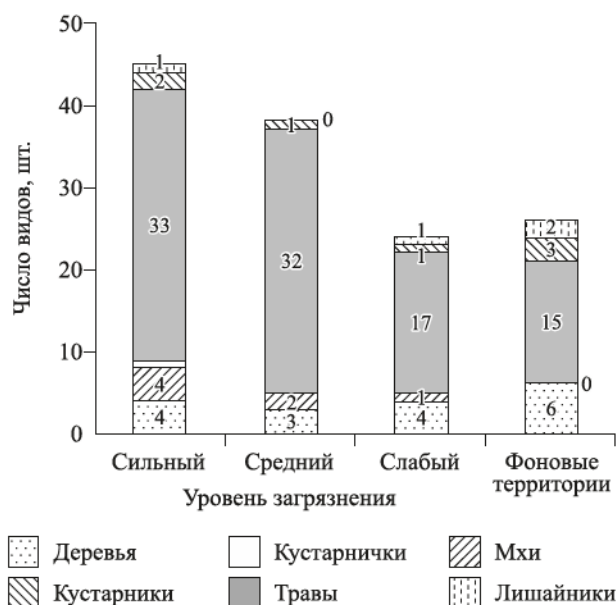


Рис. 4. Соотношение биоморф растений на пп с разным уровнем техногенного загрязнения выбросами ИркаАЗа. Цифрами отмечены достоверные различия при $p \leq 0.05$.

дендрон даурский (*Rhododendron dauricum* L.), спирея средняя, шиповник иглистый. В биоморфологическом спектре в 1.5–1.7 раза возрастает количество травянистых растений, в том числе лесолуговых и рудеральных, таких как клевер ползучий, рещок волосистый, аистник цикутый (*Erodium cicutarium* (L.) L'Hér.), липучка, подорожник большой, одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.), полынь обыкновенная, иван-чай узколистный, марь белая (*Chenopodium album* L.) и др. (рис. 4).

В промышленной зоне ИркаАЗа и в радиусе 3 км от завода, где выявлен сильный уровень загрязнения древостоя, в составе древесного яруса преобладает сосна, в примеси часто встречаются береза и осина. Древостои разновозрастные, двухъярусные, средние по высоте, среднеполнотные. Уровень дефолиации крон деревьев сосны достигает 45–60 %. В кустарниковом ярусе присутствуют спирея средняя, шиповник иглистый. Число видов сосудистых растений возрастает до 38–46 в описании, а проективное покрытие увеличивается до 70–75 %. Их преобладание обусловлено тем, что территория, прилегающая к промышленной зоне ИркаАЗа, расположена в пойме р. Олха, где преимущественное распространение имеют сосняки папоротниковые и разнотравные, в напочвенном покрове которых наряду с таежными видами много луговых.

По имеющимся в литературе данным, в 1997 г. на этой территории произрастал 56–71 вид травянистых растений (Вайцеховская,

1997). Однако спустя 23 года видовой состав упростился в среднем до 29 видов в описании. На наш взгляд, в результате снижения объемов выбросов Иркутского алюминиевого завода, наблюдаемого в последние десятилетия, произошли стабилизация видового состава и выпадение из травянистого яруса малолетних и рудеральных видов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований дана общая характеристика флоры светлехвойных лесов на территориях Иркутской области, подверженных воздействию техногенных выбросов трех алюминиевых заводов – Тайшетского, Братского и Иркутского. Проанализированы ее таксономические, эколого-географические и эколого-биоморфологические спектры. Обнаружено, что наиболее существенную трансформацию видового состава претерпели лесные сообщества, расположенные в окрестностях БрАЗа – наиболее мощного предприятия, работающего по экологически затратной технологии Содерберга. В результате угнетения основных лесобразующих пород сосны и лиственницы произошла замена хвойных пород на лиственные – березу и осину, а деградация травяно-кустарничкового яруса способствовала формированию напочвенной моховой подушки из бриума серебристого.

Изменение видового состава травяно-кустарничкового яруса в районе ТАЗа и ИркАЗа происходит преимущественно в промышленной зоне, где в результате ухудшения состояния древесного полога открывается возможность для замещения типичных лесных видов лесолуговыми, лесостепными, рудеральными видами, либо усиливается ценогическая роль некоторых злаков (например, вейника Лангсдорфа) или папоротников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-44-380009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бардаш А. В., Богданов В. Н., Богоявленский Б. А., Анисимова З. Н., Кусякин В. К., Хренов П. М., Буфал Б. В., Линевиц Н. Л., Сорокина Л. П., Дурнев Ю. А., Комаров Л. В., Устинов С. К., Заборцева Т. И., Маторова Н. И., Рязченко С. В., Аргучинцев В. К., Афанасьева Л. М., Батуев А. Р. Атлас. Иркутская область (экологические условия развития). М.; Иркутск, 2004. 90 с.
- Беляева Н. В. Катастрофический ветровал и изменения травяно-кустарничкового и мохового ярусов в лесах Висимского заповедника // Последствия катастрофического ветровала для лесных экосистем. Екатеринбург, 2000. С. 46–62.
- Вайцеховская Е. Р. Биоразнообразие травяного яруса лесных экосистем при воздействии промышленных эмиссий // Проблемы сохранения биологического разнообразия Южной Сибири: 1-я Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 19–22 мая, 1997 г. Кемерово, 1997. С. 113–114.
- Воробейчик Е. Л., Трубина М. Р., Хантемирова Е. В., Бергман И. Е. Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов медеплавильного завода // Экология. 2014. № 6. С. 448–458.
- Воробьева Г. А. Классификация и систематика почв южной (освоенной) части Иркутской области: метод. указ. Ч. 1. Иркутск: Облмашинпром, 1999. 47 с.
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Иркутской области в 2020 году». Иркутск: Мегалит, 2021. 330 с.
- Зверев А. А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: учебное пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
- Зверев А. А. Методические аспекты применения фитондикационного анализа в изучении биоразнообразия // Сиб. экол. журн. 2020. Т. 27. № 4. С. 401–415.
- Калугина О. В., Афанасьева Л. В. Особенности морфоструктурных параметров *Pinus sylvestris* L. в условиях воздействия эмиссий алюминиевого производства // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. Вып. 3. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2020. С. 99–103.
- Красная книга Иркутской области / Отв. ред. В. В. Попов. Улан-Удэ: Респ. типогр., 2020. 552 с.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М., 2008. 855 с.
- Леса и лесное хозяйство Иркутской области / под ред. Л. Н. Васьки. Иркутск: Иркут. упр. лесами, 1997. 288 с.
- Мальцев Л. И., Пешкова Г. А. Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 265 с.
- 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. СПб: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Михайлова Т. А., Калугина О. В., Шергина О. В. Динамика состояния сосновых лесов Предбайкалья в условиях воздействия антропогенных факторов // Сиб. лесн. журн. 2017. № 1. С. 44–55.
- Михайлова Т. А., Калугина О. В., Шергина О. В. Мониторинг техногенного загрязнения и состояния сосновых лесов на примере Иркутской области // Лесоведение. 2020. № 3. С. 265–273.
- Пармузин Ю. П. Средняя Сибирь. Очерк природы. М.: Мысль, 1964. 312 с.
- Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М.: Высш. школа, 1962. 378 с.
- Трубина М. Р., Дьяченко А. П. Современное состояние мохового покрова лесов после сокращения выбросов среднеуральского медеплавильного завода // Поволж. экол. журн. 2020. № 4. С. 477–491.

- Цыганов Д. Н. Фитондикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 197 с.
- Четиногов В. В. Рабочее районирование территории Байкальской Сибири для характеристики распространения сосудистых растений // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. «Биология. Экология». 2009. Т. 2. № 2. С. 3–7.
- Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 992 с.
- Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.
- Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Bosshard W. Kronenbilder Eidgenössische anstalt für das forstliche versuchswesen. Birmensgeber, 1986. 98 p.
- Kalugina O. V., Mikhailova T. A., Afanasyeva L. V., Gurina V. V., Ivanova M. V. Changes in the fatty acid composition of pine needle lipids under the aluminum smelter emissions // *Ecotoxicology*. 2021. V. 30. N. 10. P. 2083–2095.
- Kalugina O. V., Mikhailova T. A., Shergina O. V. *Pinus sylvestris* as a bio-indicator of territory pollution from aluminum smelter emissions // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2017. N. 24 (11). P. 10279–10291.
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessments, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest.* UNECE, ICP Forest Program. Coordinating Centre. Hamburg, 2010. <http://www.icp-forest.org/Manual.htm/>
- Soliveres S., Lehmann A., Boch S., Altermatt F., Carrara F., Crowther T. W., Delgado-Baquerizo M., Kempel A., Maynard D. S., Rillig M. C., Singh B. K., Trivedi P., Allan E. Intransitive competition is common across five major taxonomic groups and is driven by productivity, competitive rank and functional traits // *J. Ecol.* 2018. V. 106. N. 3. P. 852–864.
- Turetsky M. R., Bond-Lamberty, Euskirchen E., Talbot J., Frolking S., McGuire A. D., Tuittila E.-S. The resilience and functional role of moss in boreal and arctic ecosystems // *New Phytol.* 2012. V. 196. N. 1. P. 49–67.
- Zverev A. A. Methodological aspects of using indicator values in biodiversity analysis // *Contemp. Probl. Ecol.* 2020. V. 13. Iss. 4. P. 321–332 (Original Rus. text © A. A. Zverev, 2020, publ. in *Sib. Ecol. Zhurn.* 2020. V. 27. N. P. 401–415).

SPECIES COMPOSITION AND VEGETATION STRUCTURE OF LIGHT CONIFEROUS FORESTS UNDER POLLUTION OF ALUMINUM SMELTER EMISSIONS IN IRKUTSK OBLAST

T. M. Kharpukhaeva¹, L. V. Afanas'eva¹, O. V. Kalugina², M. V. Oskorbina²

¹*Institute of General and Experimental Biology Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Sakhyanova str., 6, Ulan-Ude, Republic of Buryatia, 670047 Russian Federation*

²*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Lermontov str., 132, Irkutsk, 664033 Russian Federation*

E-mail: takhar@mail.ru, afanl@mail.ru, olignat32@inbox.ru, omaria-84@ya.ru

The species diversity and state of the ground cover of light coniferous forests in the territories of Irkutsk Oblast, polluted by emissions from three aluminum smelters (Bratsk (BrAZ), Irkutsk (IrkAZ) and Tayshet (TAZ)), differing in production technology and duration of impact on forests, were studied. 188 species of vascular plants from 49 families, 102 species of lichens, including 26 species of epigeal and 13 species of ground mosses were identified. Most species belong to the forest floral complex, mainly to the light coniferous zone-zonal group. Perennial herbaceous plants dominate in the biomorphological spectrum: its basis consist of long-rooted (30 % of the total flora), short-(26 %), and rod-rooted (13 %) species. The mesophytic species dominate in ecological spectrum. The most significant transformation of the species composition was observed in forest communities located in the industrial zone (within a radius of 0.5 km) of BrAZ, where the critical level of contamination of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) trees was found, the drying of trees and the degradation of the grass-shrub layer contributed to the formation of solid moss cushion from silvergreen bryum moss (*Bryum argenteum* Hedw.) on the soil. In the industrial zone of TAZ and IrkAZ, where average and strong level of tree-stands contamination, respectively, was found we observed the increase of plant projective coverage to 70–85 % and the total number of vascular plant species due to the appearance of meadow, forest-steppe and ruderal, the composition of phytocenoses often changes towards the predominance of photophilic species. With a low level of contamination of tree-stands, changes in the floral complex are less pronounced and statistically insignificant compared to background territories.

Keywords: floristic composition, structure of light coniferous forests, technogenic emissions, aluminum production.

How to cite: Kharpukhaeva T. M., Afanas'eva L. V., Kalugina O. V., Oskorbina M. V. Species composition and vegetation structure of light coniferous forests under pollution of aluminum smelter emissions in Irkutsk Oblast // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 45–57 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630*52:630*174.754

МОДЕЛИ И ТАБЛИЦЫ ФИТОМАССЫ ОТМЕРШИХ ВЕТВЕЙ У РАСТУЩИХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

В. А. Усольцев^{1,2}, И. С. Цепордей¹¹ Ботанический сад УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а² Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

E-mail: Usoltsev50@mail.ru, ivan.tsepordey@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.08.2022 г.

В условиях изменяющегося климата возрастает актуальность оценки полного углеродного пула всех компонентов лесных экосистем, причем не только живой надземной и подземной части, но и подстилки, крупных детритов, почв и др. Имеются многочисленные оценки фитомассы надземной части лесных деревьев и древостоев как с учетом массы ветвей, отмерших и сохранившихся на стволах деревьев, так и без их учета. В базах данных о фитомассе деревьев сведения о массе отмерших ветвей на стволах деревьев отсутствуют. Этот показатель не входит в расчет как приходной, так и расходной составляющей углеродного цикла, и при оценках углеродного пула лесных экосистем происходит некоторое его занижение. В опубликованных данных отношение массы отмерших ветвей к надземной фитомассе варьирует от 0.1 до 26 %, однако попытки выявить факторы, объясняющие столь широкий ее диапазон, довольно редки. В настоящем исследовании предпринята первая попытка разработки аллометрических моделей для оценки массы отмерших ветвей растущих деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях степной зоны. Основу исследования составили 465 модельных деревьев, полученные на 35 пробных площадях. Установлено, что в березовом спелом древостое масса отмерших ветвей составляет 1.32 т/га и их относительная масса – 2.5 %, в естественных сосняках – соответственно 0.9–17 т/га и 0.7–13 % и в культурах – соответственно 0.2–13 т/га и 1.3–11 %. Зависимости, построенные для относительной массы ветвей, совмещены с таблицами хода роста по надземной фитомассе древостоев естественного происхождения и культур Тургайского прогиба. Установлено, что в зависимости от происхождения древостоя, его возраста и класса бонитета относительная масса ветвей изменяется от 0.8 до 15 %. Предложенные аллометрические модели и таксационные таблицы могут быть использованы при оценках массы отмерших ветвей древостоев. При расчетах углеродных пулов в лесах степной зоны необходимо учитывать массу отмерших ветвей путем применения повышающих коэффициентов в сосняках от 0.8 до 15 % и в спелых березовых лесах – 2.5 %.

Ключевые слова: естественные древостои, лесные культуры, *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, масса отмерших ветвей, аллометрические модели, поправки в углеродный пул.

DOI: 10.15372/SJFS20220606

ВВЕДЕНИЕ

В условиях изменяющегося климата возрастает актуальность оценки полного углеродного бюджета лесных экосистем и углеродного пула всех их компонентов (Курбанов, 2002; Замолодчиков и др., 2005; Zamolodchikov et al., 2005; Бобкова и др., 2006, 2014; Bobkova et al., 2006; Романовская и др., 2018), причем не только живой

надземной и подземной части, но и подстилки (Честных и др., 2007), крупных детритов (Замолодчиков, 2009), почв (Рожков и др., 1997) и др. Имеются многочисленные оценки фитомассы надземной части лесных деревьев и древостоев как с учетом массы ветвей, отмерших и сохранившихся на стволах деревьев (Смирнов, 1971; Семечкина, 1978; Vyskot, 1981; Габеев, 1990; Бабич и др., 2004), так и без их учета (Молчанов,

Таблица 1. Относительная масса отмерших ветвей разных пород по литературным данным

Порода	Древостон	Возраст, лет	Страна, регион	Относительная масса отмерших ветвей, %	Авторы
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	Культуры	58 18	РФ, Архангельская обл. Болгария, Странджа	0.1–9.4 8.3–18.3	Бабич и др., 2004 Патронов, 1984
С. черная (<i>P. nigra</i> J. F. Arnold)	»	18–20	То же	4.8–26.0	Патронов, 1984
С. обыкновенная	Естественные	25–122 20–77	РФ, Томская обл. РФ, Красноярская лесостепь	0.3–4.5 1.2–22.3	Габеев, 1990 Семечкина, 1978
Ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) Н. Karst.)	»	18–130 16–20	РФ, Вологодская обл. Чешская Республика, Богемия	2.2–7.9 1.2–5.1	Смирнов, 1971 Vyskot, 1981
Дугласия (<i>Pseudotsuga</i> Carr.)	Культуры	18	Болгария, Странджа	8.2–16.8	Патронов, 1984
Дуб (<i>Quercus</i> L.)	» Поросль	24 20	Болгария, Странджа Болгария, Велико-Тырново	1.1–9.2 1.1–2.3	Патронов, 1984 Мешинев, Николов, 1990
Робиния (<i>Robinia</i> L.)	Культуры	5–50	Словакия, Ипельский Соколец	1.8–7.3	Benčat, 1989
Лиственница европейская (<i>Larix decidua</i> Mill.)	Естественные	36–140	Чешская Республика, Моравия	0.5–3.4	Vyskot, 1982

1971, 1974; Казимиров, Морозова, 1973; Ватковский, 1976; Курбанов, 2002). В существующих базах данных о фитомассе деревьев сведения о массе отмерших ветвей на стволах деревьев отсутствуют (Schepaschenko et al., 2017; Usoltsev, 2020).

Таким образом, масса отмерших ветвей деревьев и древостоев не входит в расчет как приходной (живая биомасса), так и расходной (подстилка, валеж, сухостой, почвы) составляющей углеродного цикла. При оценках углеродного баланса лесных экосистем учитываются углеродные пулы надземной и подземной живой фитомассы, детритов, сухостоя, подстилки, почвы, но игнорируется пул отмерших ветвей растущих деревьев (Ведрова и др., 2000; Курбанов, 2002; Коломыц, 2020), и тем самым, общий углеродный пул лесного покрова несколько занижается.

Доля отмерших ветвей в надземной фитомассе в абсолютно сухом состоянии (далее – относительная масса отмерших ветвей, %) варьирует у разных пород от 0.1 до 26 % (табл. 1), однако попытки выявить факторы, объясняющие столь широкий ее диапазон, довольно редки.

В литературе за некоторыми исключениями (Семечкина, 1978; Уткин, Ермолова, 1982; Бабич и др., 2004; Бобкова и др., 2014) обычно не исследуются связи массы отмерших ветвей с дендрометрическими показателями деревьев и древостоев.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследований – разработать модели и таблицы углеродного пула отмерших ветвей у растущих деревьев сосны обыкновенной и березы повислой (*Betula pendula* Roth) и оценить степень занижения углеродного пула лесных экосистем при его игнорировании. Для ее достижения поставлены следующие задачи:

- разработать аллометрические модели, предназначенные для оценки массы отмерших ветвей растущих деревьев сосны обыкновенной естественного и искусственного происхождения и березы повислой по измеренному диаметру ствола;
- выполнить расчет массы отмерших ветвей на единице площади древостоев сосны естественного и искусственного происхождений и спелого древостоя березы повислой;
- разработать эмпирические модели, предназначенные для оценки массы отмерших ветвей на единице площади древостоев сосны естественного и искусственного происхождений по измеренным таксационным показателям;
- совместить полученные модели с таблицами хода роста естественных древостоев и культур сосны и показать возрастную динамику значений массы отмерших ветвей и относительной массы отмерших ветвей.

Таблица 2. Таксационная характеристика древостоев и расчетные значения фитомассы пробных площадей

Возраст, лет	Густота, тыс. экз./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запас, м³/га	Класс бонитета	Число модельных деревьев	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га		1 : 2, %
							отмерших ветвей (1)	надземная (2)	
Естественные сосняки островных боров Тургайского прогиба (52°20'–53°10' с. ш., 64° в. д.)									
13	82.40	1.7	2.7	63	IV	10	0.90	33.21	2.7
21	6.050	7.0	6.6	130	III	10	2.32	52.06	4.5
22	43.81	3.3	5.6	142	III	8	1.39	71.21	2.0
25	19.28	4.3	6.8	123	III	10	4.01	56.61	7.1
27	37.7	3.2	5.7	113	IV	10	2.70	58.42	4.6
31	12.80	6.9	9.5	247	III	10	10.20	105.27	9.7
31	26.25	4.0	7.8	163	III	10	2.10	73.49	2.9
32	19.91	5.1	7.6	199	IV	10	1.98	88.58	2.2
35	9.12	7.7	10.4	255	III	10	5.84	110.55	5.3
35	6.95	9.0	11.8	276	II	10	5.19	111.28	4.7
36	2.049	15.2	14.2	277	I	10	16.62	127.37	13.0
39	9.621	8.3	12.8	370	II	10	2.81	161.00	1.7
40	3.197	12.6	13.8	241	II	9	12.13	110.85	10.9
40	2.271	17.0	17.8	423	Ia	10	16.29	177.47	9.2
54	2.39	12.8	15.3	232	III	10	5.76	108.51	5.3
65	2.14	13.3	14.8	202	III	10	2.51	90.38	2.8
68	3.95	11.6	14.3	315	IV	10	3.41	126.50	2.7
70	0.874	22.4	21.6	339	I	10	3.89	149.56	2.6
110	1.350	22.0	21.4	558	III	10	1.62	228.55	0.7
Культуры сосны островных боров Тургайского прогиба (52°20' с. ш., 64° в. д.)									
9	11.532	2.5	2.6	16	III	5	0.18	13.07	1.4
10	18.875	3.3	4.0	50	I	10	0.92	27.42	3.4
12	19.266	3.5	3.4	51	III	10	0.49	38.86	1.3
13	9.203	4.4	4.3	44	II	9	1.15	27.26	4.2
15	8.438	4.1	3.7	41	III	10	0.69	22.28	3.1
19	4.446	7.9	6.1	88	III	10	1.46	51.82	2.8
19	7.002	9.0	9.5	233	Ia	10	11.64	110.67	10.5
20	6.333	7.0	7.0	100	II	9	4.57	47.51	9.6
21	3.238	7.7	5.5	54	III	9	1.03	32.12	3.2
22	3.846	10.8	9.0	182	I	5	6.68	93.14	7.2
22	4.244	9.6	9.2	166	I	9	6.36	85.28	7.5
24	5.340	10.5	11.4	295	Ia	9	12.87	130.57	9.9
25	8.637	7.0	7.5	149	III	10	5.37	76.74	7.0
26	6.085	8.8	9.9	192	I	11	7.90	84.21	9.4
50	1.810	16.0	16.4	262	I	10	8.16	111.63	7.3
Березняк порослевого происхождения Казахского мелкосопочника (53°00' с. ш., 70°10' в. д.)									
50	0.650	15.4	15.3	134	III	104	1,32	51,62	2,5

Объектами исследования послужили чистые сосняки естественного и искусственного происхождения степной зоны, в которых было заложено 34 пробные площади. Кроме того, была исследована надземная фитомасса 50-летнего древостоя березы повислой порослевого происхождения с полнотой 0.9. На площади 0.16 га были срублены и обработаны все деревья в чис-

ле 104. Таксационная характеристика объектов представлена в табл. 2. На каждой пробной площади сосновых древостоев по ступеням толщины в диапазоне их варьирования было взято до 10–11 модельных деревьев. У каждого модельного дерева сосны и березы определена масса отмерших ветвей, а также хвои (листвы), живых ветвей и ствола.

Таблица 3. Характеристика 465 модельных деревьев, взятых на пробных площадях в сосновых и березовых древостоях степной зоны

Обозначение статистик	A	D	H	P_s	P_b	P_f	P_a	P_d
Естественные сосняки островных боров Тургайского прогиба								
Среднее	49	10.6	11.1	40.6	4.6	2.1	47.3	1.7
Минимальное	13	0.4	1.4	0.04	0.001	0.01	0.05	0.002
Максимальное	110	34.5	26.1	436.2	48.6	13.3	483.2	23.3
Стандартное отклонение	26.6	7.5	5.3	61.4	8.3	2.9	71.3	3.2
Коэффициент вариации, %	54.6	71.2	47.6	151.3	179.4	141.9	150.7	184.4
Число наблюдений	222	222	222	222	222	222	222	222
Культуры сосны островных боров Тургайского прогиба								
Среднее	21	6.6	6.8	9.0	1.5	1.3	11.8	0.9
Минимальное	9	0.6	1.6	0.09	0.012	0.02	0.14	0.002
Максимальное	50	21.7	16.2	107.0	9.8	7.8	120.2	9.8
Стандартное отклонение	9.6	4.1	3.4	14.4	2.0	1.5	17.0	1.5
Коэффициент вариации, %	46.3	62.0	50.2	159.9	136.4	121.6	144.2	166.3
Число наблюдений	139	139	139	139	139	139	139	138
Березняк порослевого происхождения Казахского мелкосопочника (сплошная рубка)								
Среднее	50	14.4	14.1	61.7	13.5	3.2	78.5	1.9
Минимальное	50	5.6	5.8	4.7	0.6	0.2	6.2	0.05
Максимальное	50	28.0	18.3	235.6	92.6	13.7	304.3	11.3
Стандартное отклонение	—	5.4	2.5	49.4	17.0	2.9	67.9	2.5
Коэффициент вариации, %	—	37.2	17.8	80.0	125.5	89.0	86.5	128.3
Число наблюдений	104	104	104	104	104	104	104	104

Примечание. Здесь и далее: A – возраст дерева, лет; D – диаметр ствола на высоте груди, см; H – высота дерева, м; P_s , P_b , P_f , P_a и P_d – соответственно фитомасса ствола, живых ветвей, хвон, надземная и отмерших ветвей в абсолютно сухом состоянии, кг.

Методика выборочного учета и приведения показателей фитомассы к абсолютно сухому состоянию изложена ранее (Усольцев, 1985). Статистики выборок анализируемых показателей взятых модельных деревьев показаны в табл. 3. Обработка экспериментального материала выполнена по программе многофакторного регрессионного анализа Statgraphics-19 (2022).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки массы отмерших ветвей и надземной фитомассы на единице площади естественных сосняков, культур сосны и естественного березняка рассчитаны аллометрические модели:

$$\ln P_d \text{ и } \ln P_a = a_0 + a_1(\ln D). \quad (1)$$

Все полученные модели характеризуются достаточной степенью адекватности. Коэффициенты детерминации моделей (1) для P_d и P_a у березы составили 0.72 и 0.98, у сосны естественного происхождения – 0.41–0.90 и 0.96–0.99, у культур – 0.38–0.98 и 0.93–0.99, все на уровне значимости $p < 0.05$ и выше.

По материалам перечета деревьев на пробных площадях рассчитаны масса отмерших ветвей, надземная фитомасса (т/га) и относительная масса отмерших ветвей (%) (см. табл. 2). Для единственной пробной площади спелого березняка значения названных показателей составили соответственно 1.32 и 51.6 т/га и 2.5 % в естественных сосняках – соответственно 0.9–17 и 33–228 т/га и 0.7–13 %, а в культурах – соответственно 0.2–13 и 13–130 т/га и 1.3–11 %.

Далее построены зависимости массы отмерших ветвей и относительной массы отмерших ветвей сосняков от возраста и средней высоты древостоя (густота и средний диаметр древостоя оказались статистически незначимыми). Ввод в модель бинарной переменной, кодирующей происхождение древостоев, показал ее значимость на уровне $p < 0.001$, а ее вклад в объяснение изменчивости массы отмерших ветвей и относительной массы отмерших ветвей составил 29 %. Вследствие столь большой разницы отмеченных вкладов, регрессионные модели зависимости массы отмерших ветвей и относительной массы отмерших ветвей от возраста и средней высоты древостоя рассчитаны для естественных сосня-

ков и культур отдельно. Получены модели для естественных сосняков:

$$P_d = 3.8309 - 2.6573 \ln A + 3.1077 \ln H; \\ \text{adj}R^2 = 0.729; \text{SE} = 0.44; \quad (2)$$

$$P_d/P_a = 5.8124 - 2.6843 \ln A + 2.3247 \ln H; \\ \text{adj}R^2 = 0.598; \text{SE} = 0.46; \quad (3)$$

и для лесных культур:

$$P_d = -1.2099 - 1.5262 \ln A + 3.5731 \ln H; \\ \text{adj}R^2 = 0.920; \text{SE} = 0.37; \quad (4)$$

$$P_d/P_a = 0.9011 - 0.9227 \ln A + 1.8505 \ln H; \\ \text{adj}R^2 = 0.748; \text{SE} = 0.35, \quad (5)$$

где P_d – масса отмерших ветвей, т/га; P_d/P_a – относительная масса отмерших ветвей, %; A – возраст древостоя, лет; H – средняя высота древостоя, м.

При расчете моделей (2)–(5) применена поправка свободного члена на логарифмическое преобразование (Baskerville, 1972). Все регрессионные коэффициенты в (2)–(5) достоверны на уровне $p < 0.001$. Модели (2) и (4) могут быть применены для оценки массы отмерших ветвей по данным таксации древостоев пробных площадей.

Для оценки возрастной динамики массы отмерших ветвей и относительной массы отмерших ветвей модели (3) и (5) протабулированы по значениям возраста древостоя, средней высоты и надземной фитомассы таблиц хода роста по фитомассе древостоев естественного происхождения и культур Тургайского прогиба (Усольцев, 2002) (табл. 4).

Представленные данные могут быть переведены на показатели углеродного пула по коэффициенту 0.5 (Кобак, 1988).

Полученные закономерности показывают, что в естественных сосняках I класса бонитета масса отмерших ветвей в возрастном диапазоне 20–120 лет вначале увеличивается, достигая максимума в 80 лет (11.5 т/га), а к возрасту 120 лет снижается до 8.8 т/га (табл. 4). В древостоях II, III и IV классов бонитета происходит снижение массы отмерших ветвей соответственно на 35, 43 и 45 % по отношению к I классу. Аналогичный колоколообразный тренд в естественных древостоях наблюдается и для относительной массы отмерших ветвей с максимумом в возрасте 40 лет, и эти максимальные значения по классам бонитета составляют соответственно 7.1, 5.1, 3.5 и 2.2 %.

В культурах сосны в возрастном диапазоне 10–40 лет происходит монотонное увеличение массы отмерших ветвей и относительной массы отмерших ветвей, с максимальными значениями в возрасте 40 лет в Ib, Ia и I классах бонитета соответственно по показателям массы отмерших ветвей 18.4, 13.1 и 9.0 т/га и относительной массы отмерших ветвей 14.7, 11.8 и 9.4 % (табл. 4).

Относительная масса отмерших ветвей спелого березняка на уровне 2.5 % и древостоев сосны в некоторых возрастах и классах бонитета на уровне 1–2 %, конечно, невелика, и может возникнуть вопрос о целесообразности учета массы отмерших ветвей в подобных случаях (табл. 4). Как известно, в статистическом оценивании различают две основные разновидности ошибок – случайные и систематические. Если случайная ошибка может быть скорректирована, например увеличением числа наблюдений, то систематическую ошибку этим снизить нельзя, и в расчетах углеродных пулов в лесах степной зоны необходимо вносить поправки на массу отмерших ветвей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлены положительные связи массы отмерших ветвей с диаметром ствола в естественных сосняках, культурах сосны и естественном спелом березняке, значимые на уровне $p < 0.05$ и выше. Коэффициент детерминации у березы составил 0.72, в естественном сосняке варьирует от 0.41 до 0.90 и в культурах – от 0.38 до 0.98.

В расчете на единицу площади в березняке масса отмерших ветвей составила 1.32 т/га и относительная масса отмерших ветвей – 2.5 %, в естественных сосняках – соответственно от 0.9 до 17 т/га и от 0.7 до 13 %, а в культурах – от 0.2 до 13 т/га и от 1.3 до 11 %.

Построенные зависимости массы отмерших ветвей и относительной массы отмерших ветвей на единице площади сосняков от возраста и средней высоты древостоя характеризуются коэффициентами детерминации от 0.60 до 0.92, и все достоверны на уровне $p < 0.001$. Предложенные модели могут быть применены для оценки массы отмерших ветвей по данным таксации древостоев пробных площадей.

Зависимости, построенные для относительной массы отмерших ветвей, совмещены с таблицами хода роста по надземной фитомассе древостоев естественного происхождения и культур Тургайского прогиба. Установлено, что

Таблица 4. Возрастная динамика расчетных значений массы отмерших ветвей (P_d , т/га) и относительной массы отмерших ветвей (P_d/P_a , %), совмещенных с ТХР по надземной фитомассе сосняков Тургайского прогиба

Возраст древостоя, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма плошадей сечений, м²/га	Число стволов, тыс. экз./га	Запас, м³/га	Фитомасса, т/га					P_d/P_a , %
						стволы	хвоя	ветви	над- земная	P_d	
Сомкнутые сосняки островных боров Тургайского прогиба (Усольцев, 2002, С. 406)											
Класс бонитета I											
20	5.1	4.2	16.9	12.20	56	24.5	4.98	4.3	33.8	1.61	4.8
40	13.5	12.9	30.6	2.341	208	90.6	6.15	10.0	106.8	7.59	7.1
60	20.4	21.0	37.9	1.094	364	159.2	6.59	14.2	180.0	11.2	6.2
80	25.3	28.5	42.6	0.668	495	217.7	6.93	18.0	242.6	11.5	4.8
100	28.8	35.5	46.0	0.465	601	266.0	7.21	21.4	294.6	10.4	3.5
120	31.3	42.0	48.6	0.351	680	302.8	7.37	24.4	334.6	8.80	2.6
Класс бонитета II											
20	4.4	3.5	15.3	15.90	47	20.7	4.76	3.8	29.3	0.99	3.4
40	11.7	10.7	27.8	3.092	169	74.1	5.63	8.3	88.0	4.48	5.1
60	17.8	17.4	34.4	1.446	291	128.2	5.88	11.5	145.6	6.63	4.6
80	21.9	23.7	38.8	0.880	397	176.0	6.28	14.9	197.2	6.71	3.4
100	24.9	29.5	41.8	0.612	479	213.6	6.50	17.7	237.8	5.99	2.5
120	27.0	34.9	44.2	0.462	544	244.1	6.69	20.2	271.0	5.05	1.9
Класс бонитета III											
20	3.7	2.9	13.8	20.91	38	16.9	4.51	3.3	24.7	0.56	2.3
40	9.9	8.8	25.1	4.127	133	58.8	5.14	6.9	70.8	2.45	3.5
60	14.9	14.4	31.1	1.909	229	101.7	5.46	9.8	117.0	3.52	3.0
80	18.6	19.5	35.0	1.172	311	139.0	5.68	12.2	156.9	3.65	2.3
100	21.1	24.3	37.7	0.839	373	167.8	5.82	14.4	188.0	3.22	1.7
120	22.9	28.8	39.9	0.612	424	191.9	6.04	16.6	214.5	2.73	1.3
Класс бонитета IV											
20	3.0	2.3	12.3	29.66	31	13.9	4.45	2.9	21.3	0.29	1.4
40	8.1	7.0	22.4	5.816	102	45.5	4.71	5.7	55.9	1.21	2.2
60	12.2	11.4	27.7	2.713	173	77.6	4.92	7.9	90.4	1.71	1.9
80	15.1	15.5	31.2	1.652	232	104.7	5.12	9.9	119.7	1.72	1.4
100	17.2	19.3	33.7	1.150	280	127.2	5.28	11.7	144.2	1.54	1.1
120	18.7	22.9	35.6	0.863	317	144.9	5.42	13.4	163.7	1.30	0.8
Культуры сосны островных боров Тургайского прогиба (Усольцев, 2002, С. 463)											
Класс бонитета Ib											
10	4.0	4.6	11.4	6.829	32	11.3	5.96	3.9	21.2	0.81	3.8
20	8.5	10.9	26.3	2.813	121	41.8	8.81	8.7	59.3	4.83	8.1
30	12.7	15.2	35.0	1.927	210	74.2	8.95	10.4	93.5	11.0	11.8
40	16.5	17.4	39.1	1.646	293	106.5	8.55	10.7	125.7	18.4	14.7
Класс бонитета Ia											
10	3.6	4.2	10.6	7.646	30	10.6	6.17	3.9	20.7	0.65	3.1
20	7.6	9.5	24.5	3.475	104	36.4	8.23	7.7	52.3	3.46	6.6
30	11.3	13.5	32.6	2.281	179	63.9	8.42	9.4	81.7	7.75	9.5
40	14.7	15.6	36.5	1.912	252	92.4	8.14	9.8	110.3	13.1	11.8
Класс бонитета I											
10	3.1	3.8	9.8	8.677	26	9.2	6.19	3.8	19.2	0.46	2.4
20	6.7	8.2	22.8	4.308	89	31.5	7.77	6.9	46.2	2.42	5.2
30	10.0	12.0	30.3	2.680	153	55.1	8.01	8.6	71.7	5.43	7.6
40	13.0	13.6	33.9	2.334	214	79.4	7.63	8.8	95.8	9.03	9.4

Примечание. Значения P_d и P_d/P_a получены расчетом по моделям (3) и (5), а остальные показатели перенесены из таблиц хода роста по фитомассе древостоев естественного происхождения и культур Тургайского прогиба.

с возрастом относительная масса отмерших ветвей естественных сосняков изменяется по колоколообразной кривой, достигая максимального значения (7.1 %) в I классе бонитета. В культурах относительная масса отмерших ветвей монотонно увеличивается с возрастом, достигая в 40 лет в Ib классе бонитета около 15 %.

Предложенные аллометрические модели и таксационные таблицы могут быть использованы при оценках массы отмерших ветвей сосны обыкновенной. При расчетах углеродных пулов в лесах степной зоны необходимо применять повышающий коэффициент на пул массы отмерших ветвей: в сосняках – от 0.8 до 15 % и в спелых березовых лесах – 2.5 %.

Работа выполнена по государственному заданию Ботанического сада УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабич Н. А., Мерзленко М. Д., Евдокимов И. В. Фитомасса культур сосны и ели в Европейской части России. Архангельск: Соломбальская тип., 2004. 112 с.
- Бобкова К. С., Тужилкина В. В., Кузин С. Н. Углеродный цикл в еловых экосистемах северной тайги // Экология. 2006. № 1. С. 23–31.
- Бобкова К. С., Машика А. В., Смагин А. В. Динамика содержания углерода органического вещества в средне-таежных ельниках на автоморфных почвах. СПб.: Наука, 2014. 270 с.
- Ватковский О. С. Анализ формирования первичной продуктивности лесов. М.: Наука, 1976. 116 с.
- Ведрова Э. Ф., Спирidonova Л. В., Стаканов В. Д. Круговорот углерода в молодняках основных лесообразующих пород Сибири // Лесоведение. 2000. № 3. С. 40–48.
- Габеев В. Н. Экология и продуктивность сосновых лесов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 229 с.
- Замолodчиков Д. Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок // Лесоведение. 2009. № 4. С. 3–15.
- Замолodчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н., Честных О. В. Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России // Экология. 2005. № 5. С. 323–333.
- Казимиров Н. И., Морозова Р. М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1973. 175 с.
- Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеониздат, 1988. 248 с.
- Коламыц Э. Г. Углеродный баланс и устойчивость лесных экосистем при глобальных изменениях климата. Экологические ресурсы бореальных лесов. М.: Наука, 2020. 423 с.
- Курбанов Э. А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 300 с.
- Мешинев Т., Николов В. Биологическая продуктивность ассоциации *Quercus cerris* – *Quercus frainetto* – *Carpinus orientalis* – *Mixtoherbosa* из района Еленского предгорья // Наука за гората. 1990. № 3. С. 34–39 (на болгар. яз., реф. на рус.).
- Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 275 с.
- Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в березовых древостоях Московской области // Продуктивность органической и биологической массы леса. М.: Наука, 1974. С. 141–161.
- Патронов Д. Вверху фракционного распределение на надземнaта фитомаса в млади насаждения в Странджа // Горскостопанска наука. 1984. Т. 21. № 1. С. 37–46 (на болгар. яз., реф. на рус.).
- Рожков В. А., Вагнер В. В., Козут Б. М., Конюшков Д. Е., Шеремет Б. В. Запасы органических и минеральных форм углерода в почвах России // Углерод в биогеоценозах: Чтения памяти акад. В. Н. Сукачева, М.: Наука, 1997. Т. 15. С. 5–58.
- Романовская А. А., Трунов А. А., Коротков В. Н., Карabanь Р. Т. Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении // Лесоведение. 2018. № 5. С. 323–334.
- Семечкина М. Г. Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 165 с.
- Смирнов В. В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах Европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с.
- Усольцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. ун-та, 1985. 192 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3353>
- Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии. Нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 763 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3302>
- Уткин А. И., Ермолова Л. С. Первичная продуктивность культур сосны обыкновенной Ульяновского Поволжья // Биологическая продуктивность лесов Поволжья. М.: Наука, 1982. С. 186–195.
- Честных О. В., Лыжин В. А., Кокшарова А. В. Запасы углерода в подстилках лесов России // Лесоведение. 2007. № 6. С. 114–121.
- Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Can. J. For. Res. 1972. V. 2. N. 1. P. 49–53.
- Benčat T. Black locust biomass production in Southern Slovakia. Bratislava: VEDA, 1989. 191 p.
- Bobkova K. S., Tuzhilkina V. V., Kuzin S. N. Carbon cycle in spruce ecosystems of the northern Taiga subzone // Rus. J. Ecol. 2006. V. 37. Iss. 1. P. 19–27 (Original Rus. Text © K. S. Bobkova, V. V. Tuzhilkina, S. N. Kuzin, 2006, publ. in Ekologiya. 2006. N. 1. P. 23–31).
- Schepaschenko D., Shvidenko A., Usoltsev V. A., Lakyda P., Luo Y., Vasylyshyn R., Lakyda I., Myklush Y., See L., McCallum I., Fritz S., Kraxner F., Obersteiner M. A dataset of forest biomass structure for Eurasia // Sci. Data. 2017. V. 4. № 1. Article number: 170070.
- Statgraphics-19. Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, Virginia, 2022. <http://www.statgraphics.com/>
- Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg: Ural St. For. Engineer. Univ.; Bot. Garden Ural Br. Rus. Acad. Sci., 2020.

Ůyskot M. Biomass of the tree layer of a spruce forest in the Bohemian Uplands. Praha: Academia, 1981. 397 p.
Ůyskot M. *Larix decidua* Mill. in biomass // Rozpravy Československé Akademie Véd. Rada Matematických a Přírodních Véd. Praha. 1982. V. 92. Iss. 8. 162 p.

Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N., Chestnykh O. V. Dynamics of carbon pools and fluxes in Russia's forest lands // Rus. J. Ecol. 2005. V. 36. Iss. 5. P. 291–301 (Original Rus. Text © 2005, D. G. Zamolodchikov, A. I. Utkin, G. N. Korovin, O. V. Chestnykh, publ. in Ekologiya. 2005. N. 5. P. 323–333).

MODELS AND TABLES OF THE PHYTOMASS OF DEAD BRANCHES IN GROWING TREES OF SCOTS PINE AND SILVER BIRCH IN THE STEPPE ZONE

V. A. Usoltsev^{1,2}, I. S. Tsepordey¹

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

² Ural State Forest Engineering University
Sibirskii trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

E-mail: Usoltsev50@mail.ru, ivan.tsepordey@yandex.ru

Under conditions of a changing climate, the relevance of assessing the full carbon pool of all components of forest ecosystems increases, not only of the living aboveground and underground parts, but also of litter, large detritus, soils, etc. There are numerous estimates of the phytomass of the aboveground part of forest trees and stands, both taking into account the mass of branches that have died and preserved on tree stems, and without taking them into account. There is no information about the mass of dead branches on tree stems in the available databases on the phytomass of trees. Thus, the mass of dead branches of trees and stands is not included in the calculation of both the input and output components of the carbon cycle, and when estimating the carbon pool of forest ecosystems, it is underestimated by some unknown amount. In the published data on the phytomass of trees, the relative mass of dead branches, i.e. the ratio of the mass of dead branches to the aboveground phytomass, varies from 0.1 to 26 %, however, attempts to identify factors explaining such a wide range of it are quite rare. In this study, the first attempt was made to develop allometric models designed to estimate the mass of dead branches of growing trees of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of the steppe zone. The study was based on 465 model trees obtained on 35 sample plots. It was found that in the mature birch stand, the mass of dead branches is 1.32 t/ha and relative mass of dead branches is 2.5 %, in natural pine forests 0.9–17 t/ha and 0.7–13 %, respectively, and in plantations 0.2–13 t/ha and 1.3–11 %, respectively. The dependencies constructed for the relative mass of dead branches are combined with yield tables of the aboveground phytomass of stands of natural origin and plantations of the Turgay Depression. It was found that, depending on the origin of the stand, its age and site index, the relative mass of dead branches varies from 0.8 to 15 %. The proposed allometric models and inventory tables can be used in the assessment of the mass of dead branches on tree stems of pine stands. When calculating carbon pools in the forests of the steppe zone, it is necessary to take into account the mass of dead branches by applying increasing coefficients in pine forests from 0.8 to 15% and in mature birch forests 2.5 %.

Keywords: natural tree stands, forest crops, *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, mass of dead branches, allometric models, corrections to the carbon pool.

How to cite: Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Models and tables of the phytomass of dead branches in growing trees of Scots pine and Silver birch in the steppe zone // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 58–65 (in Russian with English abstract and references).

УДК 582.2/3:581.5:58.02 (571.53)

ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ Г. УСОЛЬЕ-СИБИРСКОЕ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

И. Н. Егорова, Г. С. Тупикова, О. В. Шергина

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
ул. Лермонтова, 132, Иркутск, 664033 Российская Федерация*

E-mail: egorova@sifibr.irk.ru, galina93shambueva@mail.ru, sherolga80@mail.ru

Поступила в редакцию 31.05.2022 г.

В статье впервые приведены данные о составе и структуре группировок водорослей в серых лесных почвах г. Усолье-Сибирское и его окрестностей, подверженных техногенному загрязнению. Изучены образцы из 19 пунктов, преимущественно лесных насаждений, расположенных на территории города (12 пунктов) и его окрестностей (7 пунктов). При помощи культурозависимых методов зарегистрировано 77 видов из пяти отделов: цианопрокариот (Cyanoprokaryota) – 22 % от общего числа видов, диатомовых водорослей (Bacillariophyta) – 5 %, желтозеленых (Ochromyces) – 9 %, зеленых (Chlorophyta) – 61 %, харофитовых водорослей (Charophyta) – 3 %. Наибольшим числом видов представлены зеленые водоросли, что характерно для лесных почв. Разнообразие видов цианопрокариот отмечено в почвах города, которым свойственна меньшая кислотность, повышенное содержание обменных кальция, натрия, серы, более низкое по сравнению с фоном содержание общего азота. В исследованных лесных насаждениях на территории города разнообразие группировок водорослей было выше (среднее число видов 11.7), чем в его окрестностях (в среднем 9.9 видов). Состав и структура альгогруппировок лесных почв г. Усолья-Сибирского свидетельствует о сохранении ими общих черт, свойственных таковым почв естественных биогеоценозов. По числу видов, распределению видов в отделах почвенный альгокомплекс лесных насаждений г. Усолья-Сибирского и его окрестностей сходен с таковыми других промышленных центров Иркутской области: городов Саянск, Шелехов, Иркутск.

Ключевые слова: альгогруппировки, серые лесные почвы, биоразнообразие, техногенное загрязнение.

DOI: 10.15372/SJFS20220607

ВВЕДЕНИЕ

Город Усолье-Сибирское основан в середине XVII в. вблизи месторождения соли. Первые поселенцы использовали хлоридные натриевые солевые воды и рассолы для добычи пищевой соли (Шаманский, 1994). В 30-е гг. XIX в. арендаторы солевого промысла стали использовать рассол Усольского источника для лечебных целей. Здесь был основан старейший в Иркутской области курорт, функционирующий и поныне (Ломоносов и др., 1977). В 30-е гг. XX в. в Усолье-Сибирском развивается промышленное производство преимущественно на основе хлора. К концу XX в. его вклад в промышленную продукцию области достиг 10 %. В XXI в. город

во многом утратил свое промышленное значение, тем не менее промышленная деятельность продолжается и связана с добычей соли, производством машинного оборудования, деревообработкой, производством пищевой, фармацевтической, химической продукции. Развитие промышленного комплекса и концентрация крупных предприятий на относительно небольшой территории города и его окрестностей привели к загрязнению атмосферного воздуха, почв и водоемов специфическими веществами первого и второго класса опасности, в том числе ртути (Седых, Зарипов, 2002). Анализ санитарно-микробиологического состояния почв города показал, что доля сильно и умеренно загрязненных почв составляет около 70 % (Напрасникова, 2019).

Важной составляющей почвенной биоты являются водоросли, играющие большую роль в создании первичной продукции, циклах биогенных элементов, минерализации, водоудержания, стабилизации почвы и служащие индикаторами условий окружающей среды (Голлербах, Штина, 1969). Изучению водорослей, обитающих в естественных лесных почвах и почвах урбанизированных территорий России, посвящено значительное число работ (Андросова, 1964; Алексахина, Штина, 1984; Суханова и др., 2000; Sukhanova et al., 2000; Филонова, 2001; Артамонова, 2002; Аксенова, Баранова, 2010; Хайбуллина и др., 2011; Трухницкая, 2012; Назаренко, 2013; Дорохова и др., 2015; Кондакова и др., 2016; и др.). Исследования водорослей почв урбанизированных территорий Прибайкалья до настоящего времени единичны и преимущественно связаны с изысканиями Е. А. Судаковой в крупных промышленных центрах – Иркутске, Шелехове и Саянске (Егорова, Максимова, 2018). Наиболее полно их результаты опубликованы только в Иркутске (Судакова, 2000; Лопатовская, Максимова, 2010). Для Усолья-Сибирского и его окрестностей имеются отдельные сведения о водорослях-макрофитах, обитающих на переувлажненных грунтах вблизи водоемов (Вишняков, 2019). До настоящего времени почвенные водоросли не были в фокусе внимания исследователей.

Цель нашей работы заключалась в изучении разнообразия и структуры группировок водорослей почв лесных и травянистых насаждений г. Усолья-Сибирского и его окрестностей на территориях с разным уровнем техногенного загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территория исследования расположена в Иркутской области в пределах Иркутско-Черемховской равнинной впадины, недалеко от слияния рек Белая и Ангара. Впадина вытянута вдоль северо-восточного подножия Восточного Саяна, заполнена преимущественно обломочными отложениями юрского возраста, перекрытых сверху чехлом песчаных четвертичных отложений. Здесь проходит область залегания пластов кембрийской каменной соли, с которыми генетически связаны изливающиеся на поверхность соленые воды и рассолы (Ломоносов и др., 1977). Рельеф выровненный, полого-увалистый, слегка холмистый. Абсолютные высоты изменяются от 400 до 500 м над ур. м. Климат резко

континентальный, с большими амплитудами суточных температур. Среднегодовая температура отрицательная – от -1.3 до -2.4 °C. Среднее годовое количество осадков – до 400–500 мм, большая их часть выпадает во второй половине лета. Территории свойственна неравномерность выпадения осадков по годам. Снежный покров незначителен, до 30–40 см (Картушин, 1969). В почвенном покрове преобладают серые лесные, дерново-подзолистые и дерново-лесные почвы (Почвенная карта..., 1988). Распространены подтаежные сосновые и лиственнично-сосновые, осиново-березовые и березово-осиновые травяные леса с участками луговых степей. Им сопутствуют болотные, долинно-луговые сообщества. Подтаежные геосистемы значительно изменены в результате деятельности человека (Коновалова, Наговицина, 2018).

Нами изучены образцы лесной почвы, техногенного грунта и корочек водорослей, собранные в 19 пунктах на территории муниципального образования (МО) г. Усолье-Сибирское и Усольского района. Отбор почвенных проб проведен преимущественно одним из авторов статьи, почвоведом О. В. Шергиной в июне–июле 2010 г. Пункты для отбора проб выбраны с учетом загрязнения и угнетения почв и растительности аэропромвыбросами производственного объединения «Усольехимпром». На территории МО взяты образцы почвы в городских лесах и лесопарках, образцы грунта техногенного отвала, корочек водорослей в отстойниках Химпрома и лесных насаждениях (всего в 12 пунктах). Еще в 7 пунктах Усольского района изучены водоросли почв лесных фитоценозов. Почвы обследованы методом почвенных разрезов. Состав водорослей изучали по объединенной пробе почвы органо-аккумулятивного горизонта (0–20 см) разреза, так как в поверхностных слоях сосредоточено наибольшее разнообразие микрофототрофов. Пробоподготовку почв и грунта для альгологических изысканий осуществляли в лаборатории принятыми в почвенной фикографии методами (Штина, 1981; Algal..., 2005).

Идентификация водорослей проводилась в лабораторных условиях культурозависимыми и культуронезависимыми методами. При помощи последних изучены водорослевые корочки (прямым микроскопированием в световой микроскоп). Подавляющее большинство видов охарактеризованы на основе культивируемого материала. Преимущество используемых методов заключается в том, что исследователь имеет дело с видами как физическими организмами.

Это позволяет отслеживать их жизненные циклы, изучать различные аспекты физиологии и биохимии водорослей, осуществлять долговременные и разнонаправленные изыскания, в том числе молекулярно-генетические. Условия выращивания культур, используемые среды, методы изоляции и идентификации водорослей описаны многими исследователями (Stanier et al., 1971; Starr, Zeikus, 1993; Андреева, 1998; Костиков и др., 2001; Algal..., 2005; Егорова, 2011; Егорова и др., 2019). В ходе изысканий некоторые выделенные из почв штаммы были депонированы в коллекцию культур водорослей СИФИБР СО РАН – IRK-A и доступны для наблюдений. Название типа почв дано в соответствии с общепринятой классификацией и Единым государственным реестром почвенных ресурсов России (Классификация..., 2004; Единый госреестр..., 2014). Принятая система отделов и порядок расположения видов в списке такие же, как в предыдущих работах (Егорова и др., 2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 показаны район работ и ландшафты территории исследований.

В растительных сообществах были изучены образцы техногенного грунта (1), серой лесной почвы (16), водорослевых корок (2) (табл. 1). Почвы серые лесные со слабокислой реакцией среды, в черте города с тенденцией к подщелачиванию. В большинстве обследованных пунк-

тов на территории МО гумусовые горизонты почв значительно трансформированы, характеризуются пылеватым и пылегато-комковатым агрегатным составом, увеличением плотности сложения на 25–60 %, снижением влажности на 30–60 %, пористости на 30–45 %, аэрации на 35–55 %. Наблюдаются признаки техногенного солонцевания и оглеения почв. В городских почвах в сравнении с фоновыми повышено содержание обменных кальция, натрия, а также серы. Концентрация обменного калия, общего азота значительно ниже, чем в почвах фоновых территорий. Превалирует сульфатно-кальциевый тип загрязнения (Шергина и др., 2018).

Всего выявлено 77 видов водорослей из пяти отделов (табл. 2): цианопрокариоты (Cyanoprokaryota) – 17 (22 % от общего числа видов), диатомовые водоросли (Bacillariophyta) – 4 (5 %), желтозеленые водоросли (Ochromyphyta) – 7 (9 %), зеленые водоросли (Chlorophyta) – 47 (61 %), Charophyta – 2 вида (3 %). Зарегистрированы виды 45 родов. Среднее число видов в роде 1.7. Разнообразие 19 родов выше среднего, они включают 2 и более вида. По числу представителей выделяются роды хламидомонас (*Chlamydomonas* Ehrenb.) с 6 видами, носток (*Nostoc* Vaucher ex Bornet and Flahault), хлоросарцинопсис (*Chlorosarcinopsis* Herndon), плевраструм (*Pleurastrum* Chodat) – включают по 4 представителя, хлорококкум (*Chlorococcum* Menegh.), целастрелла (*Coelastrum* Chodat) – по 3.

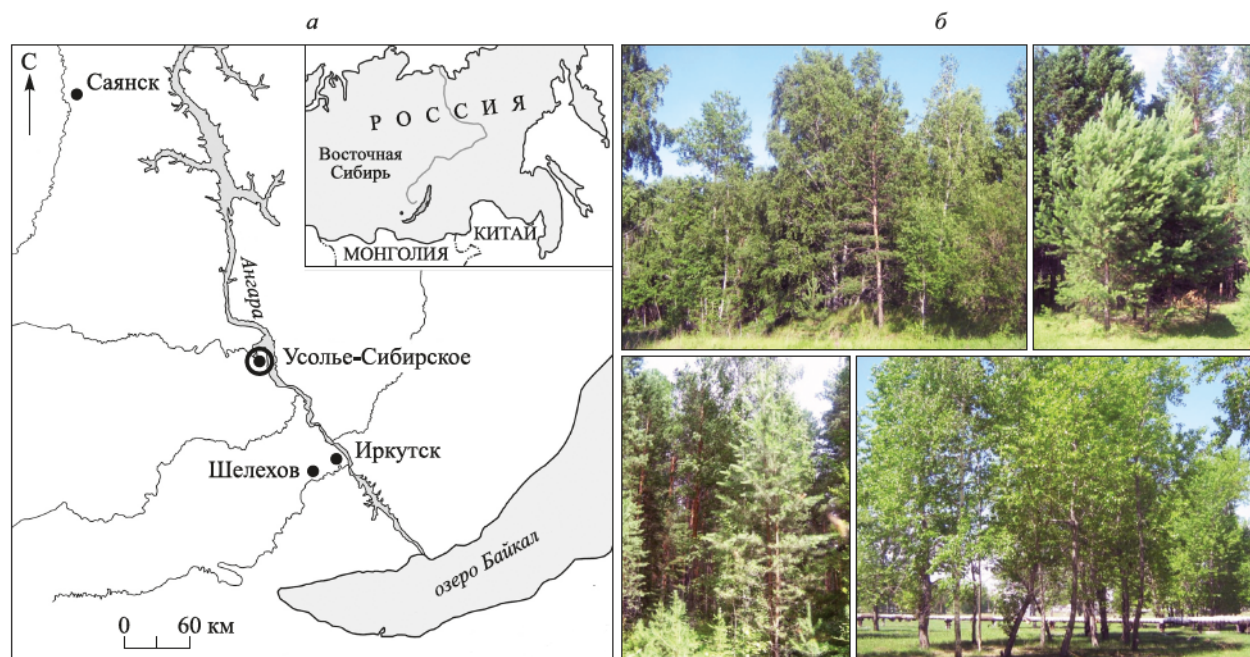


Рис. 1. Район работ (а) (обозначен кружком) и растительные сообщества территории исследований (б).

Таблица 1. Краткая характеристика пунктов исследований

№ пп	Пункты сбора	Растительность	Образец	Высота (м н. у. м.) / координаты	pH _{водн} почв
Иркутская область. МО г. Усолье-Сибирское					
1	Промышленная площадка Усольехимпрома	Березово-тополевый с сосной злаково-разнотравный лес	Серая лесная почва	424 / N 52°46'41", E 103°37'57"	6.55 ± 0.15
2	ТЭЦ 11 в районе промплощадки	Березняк с сосной разнотравный	То же	460 / N 52°46'41", E 103°37'57"	6.85 ± 0.20
3	Отстойники Усольехимпрома	Злаковая ассоциация	Корочки водорослей на песчаной почве	400 / N 52°48'95", E 103°39'20"	7.15 ± 0.25
4	Окраина промзоны вблизи сворота на пгт. Белореченский	Сосняк с березой низкотравный	Серая лесная почва	452 / N 52°48'43", E 103°34'93"	6.80 ± 0.15
5	Техногенный отвал ТЭЦ 11	Сосново-березовые насаждения с кустарниками	Эмбриоземы	471 / N 52°46'47", E 103°35'36"	8.95 ± 0.30
6	Там же, рядом	Заросли кустарников	Корочки водорослей на серой лесной почве	470 / N 52°46'39", E 103°35'42"	7.90 ± 0.15
7	Кинотеатр «Родина»	Топольник с березой разнотравный	Серая лесная почва	421 / N 52°45'30", E 103°39'35"	7.60 ± 0.25
8	Верхний парк	Березняк с лиственницей и сосной низкотравный	То же	445 / N 52°45'21", E 103°38'03"	6.55 ± 0.15
9	На въезде в город (юго-восточная окраина)	Топольник с березой разнотравный	»	428 / N 52°43'42", E 103°40'17"	6.10 ± 0.20
10	Лесопарковая зона вблизи ж/д вокзала	Сосново-березовый разнотравный лес	»	439 / N 52°44'07", E 103°38'51"	6.40 ± 0.25
11	Микрорайон Зеленый городок	То же	»	487 / N 52°44'29", E 103°36'03"	5.60 ± 0.15
12	Окр. лыжной базы «Снежинка»	Сосняк с березой кустарниковый	»	461 / N 52°43'07", E 103°38'28"	5.45 ± 0.15
Усольский район					
13	Окр. д. Арансахой	Березняк с осиной высокотравный	Серая лесная почва	480 / N 52°48'95", E 103°20'18"	5.10 ± 0.10
14	Урочище Кулаково	Сосново-березовый высокотравный лес	То же	468 / N 52°50'44", E 103°09'26"	4.95 ± 0.15
15	Окр. пгт Мишелевка	Сосняк разнотравный	»	467 / N 52°51'27", E 103°11'04"	4.75 ± 0.20
16	Окр. снт Лужки (исчезнувшее поселение)	Березняк с сосной разнотравный	»	472 / N 52°48'86", E 103°35'09"	5.35 ± 0.20
17	Окр. с. Сосновка	Сосняк с березой рододендрово-брусничный	»	418 / N 52°49'05", E 103°24'15"	4.85 ± 0.15
18	По дороге в сторону с. Узкий Луг	Сосново-березовый разнотравный лес	»	497 / N 52°53'85", E 103°11'30"	5.45 ± 0.20
19	По дороге в сторону с. Бельск	Сосново-березовый орляково-папоротниково-разнотравный лес	»	475 / N 52°53'09", E 103°09'33"	5.70 ± 0.25

В почвах г. Усолье-Сибирское зарегистрировано большее число видов, чем в его окрестностях (табл. 2). Это связано с большим числом сборов в черте города (см. табл. 1).

Видовое разнообразие зеленых хлорофитовых водорослей превышает таковое других отделов как в почвах муниципального образования, так и на окрестных территориях. Зарегистриро-

Таблица 2. Почвенные водоросли лесных насаждений г. Усолье-Сибирского и его окрестностей

Таксон	Тип галлома	Число видов			
		Город (МО)			Район
		К	П	ТО	П
1	2	3	4	5	6
Цианопрокaryota					
<i>Aphanocapsa fuscolutea</i> Hansg.	к		1		1
<i>A. muscicola</i> (Menegh.) Wille	к		1		1
<i>Calothrix</i> sp.	н		1	1	
<i>Jaaginema pseudogeminatum</i> (G. Schmid) Anagn. et Komárek	н				1
<i>J. sp.</i>	н		1		1
<i>Leptolyngbya gracillima</i> (Hansg.) Anagn. et Komárek	н		1	1	
<i>L. notata</i> (Schmidle) Anagn. et Komárek	н		1		
<i>Nodularia sphaerocarpa</i> Bornet et Flahault	н		1		
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet et Flahault	н	1	1		
<i>N. paludosum</i> Kütz. ex Bornet et Flahault	н				
<i>N. punctiforme</i> Har.	н		1		1
<i>N. sp.</i>	н		1	1	
<i>Plectonema tomasianum</i> Bornet ex Gomont f. <i>gracile</i> (Hansg.) V. I. Poljansky	н		1		
<i>Roholtiella</i> cf. <i>edaphica</i> Bohunická et Lukešová	н		1		
<i>Scytonema ocellatum</i> Lyngb. ex Bornet et Flahault	н			1	
<i>Synechococcus</i> sp.	к	1	1		
<i>Trichormus ellipsosporus</i> (F. E. Fritsch) Komárek et Anagn.	н		1		
Bacillariophyta					
cf. <i>Achnanthes</i> Bory	к			1	
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenb.) Grunow	к		1		1
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenb.	к		1		
cf. <i>Navicula</i> Ehrenb.	к			1	1
Ochrophyta					
<i>Botrydiopsis arhiza</i> Borzi	к		1		1
<i>B. cf. eriensis</i> J. Snow	к		1		
<i>Heterococcus</i> sp.	с		1		
<i>Vischeria magna</i> (J. B. Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf et Friedl	к		1		1
<i>V. helvetica</i> (Vischer et Pascher) D. J. Hibberd	к		1	1	1
<i>Xanthonema</i> cf. <i>sessile</i> (Vinatzer) H. Ettl et G. Gärtner	н		1		
<i>X. sp.</i>	н		1		1
Chlorophyta					
<i>Bracteacoccus</i> cf. <i>grandis</i> H. W. Bisch. et H. C. Bold	к				1
<i>B. minor</i> (Schmidle ex Chodat) J. Petrová	к		1		1
<i>Bracteacoccus</i> sp.	к		1	1	1
<i>Chlamydocapsa</i> sp.	ГМ		1		1
<i>Chlamydomonas</i> cf. <i>macrostellata</i> J. W. G. Lund	М		1		1
<i>C. cf. noctigama</i> Korschikov	М		1		1
<i>C. sp.1</i>	М				1
<i>C. sp.2</i>	М		1		
<i>C. sp.3</i>	М		1		1
<i>C. sp.4</i>	М		1		
<i>Chloranomala</i> sp.	с		1		
<i>Chlorella vulgaris</i> Beij. f. <i>globosa</i> V. M. Andreyeva	к		1		
<i>Chlorococcum echinozygotum</i> R. C. Starr	к		1		1
<i>C. infusionum</i> (Schränk) Menegh.	к		1		1
<i>C. sp.</i>	к		1		

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
<i>Cholorosarcinopsis dissociata</i> Herndon	с		1		1
<i>C. eremi</i> Chantan. et H. C. Bold	с		1		
<i>C. gelatinosa</i> Chantan. et H. C. Bold	с		1		
<i>C. sp.</i>	с		1		
<i>Coccomyxa</i> cf. <i>elongata</i> Chodat et Jaag	к		1		1
<i>C. cf. subellipsoidea</i> Acton emend Jaag	к		1		1
<i>Coelastrella aeroterrestica</i> A. Tschaikner, G. Gärtner et W. Kofler	к		1		1
<i>C. terrestris</i> (Reisigl) E. Hegewald et N. Hanagata	к		1	1	1
<i>C. vacuolata</i> (Shihira et R. W. Krauss) E. Hegewald et N. Hanagata	к				1
<i>Edaphochlorella mirabilis</i> (V. M. Andreeva) Darienko et Pröschold	к		1		
<i>Elliptochloris subsphaerica</i> (Reisigl) H. Ettl et G. Gärtner	к		1		
<i>Eubrownia aggregata</i> (R. M. Br. et H. C. Bold) Shin Watan. et L. A. Lewis	с				1
<i>Heterotetracystis</i> -like alga	с		1		
<i>Leptosira erumpens</i> (Deason et H. C. Bold) Lukešová	н				1
Cf. <i>Lobochlamys culleus</i> (H. Ettl) T. Pröschold, B. Marin, U. W. Schlösser et M. Melkonian	м				1
<i>Macrochloris chlorococcoides</i> H. Ettl et G. Gärtner	к		1		1
<i>Muriella terrestris</i> J. B. Petersen	к		1		
<i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punčoch.	к		1		
<i>Neochlorosarcina</i> cf. <i>negevensis</i> (Friedman et Ocampo-Paus) Shin Watan.	с				1
<i>Neocystis</i> sp.	к				1
<i>Palmellopsis gelatinosa</i> Korshikov	гм		1		1
<i>Palmellopsis</i> sp.	гм		1		1
<i>Pleurastrum sarcinoideum</i> Groover et H. C. Bold	с		1		1
<i>P. cf. sarcinoideum</i> Groover et H. C. Bold	с				1
<i>P. terricola</i> (Bristol) D. M. John	с		1		
<i>Pleurastrum</i> sp.	с		1		
<i>Spongiochloris excentrica</i> R. C. Starr	к		1		
<i>S. sp.</i>	к				1
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	н		1		1
<i>S. minor</i> Nägeli	н				1
<i>Tetracystis intermedia</i> (Deason et H. C. Bold) R. M. Br. et H. C. Bold	с				1
<i>T. sp.</i>	с		1		1
Charophyta					
<i>Klebsormidium</i> cf. <i>flaccidum</i> (Kütz.) P. C. Silva, Mattox et W. H. Blackw.	н		1		1
<i>K. cf. nitens</i> (Kütz.) Lokhorst	н		1	1	1
И т о г о... (77)	31к21н 15с7м3гм	2	61	10	44

Примечание. Тип морфологической дифференциации таллома (Масюк, 1989): к – коккоидный, н – нитчатый, м – монадный, гм – гемимонадный, с – сарциноидный. К – корочки водорослей; П – почва; ТО – техногенный отвал.

ванные хлорофитовые водоросли представлены разными типами морфологической дифференциации таллома.

Большинство видов – коккоидной формы (42.3 % от общего числа зеленых хлорофитовых водорослей), значительная доля приходится на образующие комплексы клеток (сарциноидные) водоросли (30.0 %), разнообразие монад-

ных (14.9 %), гемимонадных (6.4 %), нитчатых (6.4 %) водорослей уступает коккоидным и сарциноидным.

Цианопрокариоты занимают вторую позицию по числу видов. Однако в ряде случаев они являются доминантами альгогруппировок, например техногенного отвала. Они же образовывали корочки на почве (пункт № 3, синехококкус;

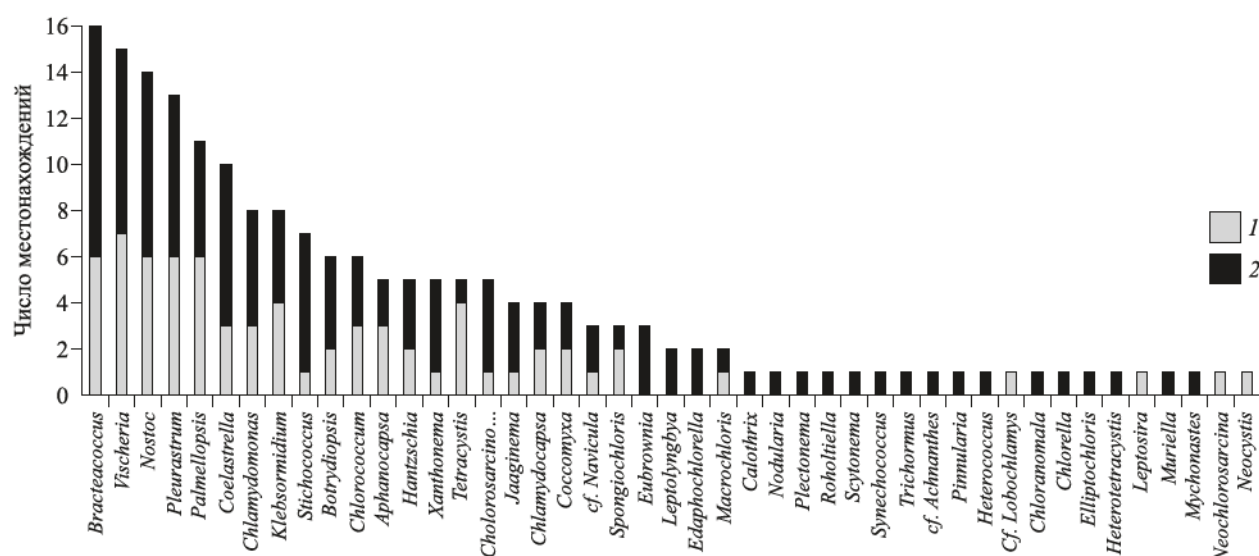


Рис. 2. Встречаемость родов водорослей в лесных почвах г. Усолье-Сибирское (2) и его окрестностей (1).

№ 6, носток обыкновенный, табл. 2). Цианопрокариоты представлены преимущественно нитчатыми организмами (82.3 % от их общего числа), значительно менее коккоидными (17.7 %). На долю потенциально способных к азотфиксации видов родов носток, рохольтиелла (*Roholtiella* sp.), скитонема (*Scytonema* sp.), трихормус (*Trichormus* sp.) приходится 52.9 % от числа представителей этого отдела. Большинство диатрофов найдены в почвах лесных насаждений города и на отвалах Химпрома.

Во всех изученных образцах обнаружены желтозеленые водоросли, коккоидные виды родов ботридиописис (*Botrydiopsis* sp.), вишерия (*Vischeria* sp.), нитчатые, легко распадающиеся на отдельные клетки и фрагменты нитей, ксантонема (*Xanthonema* sp.) и образующие пакеты клеток и ветвящиеся гетерококкус. В массе обнаружены только водоросли рода вишерия. В частности, их регистрировали прямым микроскопированием вместе с цианопрокариотами в образцах грунта техногенного отвала. Среди диатомовых водорослей зарегистрировано небольшое число видов. Чаще других находили ханцшию обоюдоострую (рис. 2).

Единичны зеленые харофитовые водоросли, которые представлены видами рода клебсормидиум (*Klebsormidium* sp.), типичного для наземных местообитаний, способного развиваться даже в экстремальных условиях. Водоросли клебсормидиум – также характерные обитатели почв и различных наземных субстратов в урбоэкосистемах (Rindi, Guiry, 2004; Rindi et al., 2008).

К наиболее часто выявляемым родам принадлежат брактеакоккус, вишерия, носток, плев-

раструм, пальмеллописис, целастрелла, обнаруженные в большинстве пунктов в окрестностях города и на его территории. Представители 20 родов водорослей в настоящее время зарегистрированы только в одном местонахождении, преимущественно в городских почвах. Водоросли других 19 родов находили в 2–8 местонахождениях. Большинство выявленных родов водорослей встречаются в разных наземных местообитаниях. В исследованных почвах также найдены виды, находки которых для Байкальского региона приводятся впервые, такие как представители родов рохольтиелла, хлораномала, лептосира (*Leptosira* sp.), неохлоросарцина (*Neochlorosarcina* cf. *negevensis*), плевраструм (рис. 3).

Возможно, ряд зарегистрированных в почвах Усолья-Сибирского водорослей являются новыми для науки видами.

Водоросли хлораномала, неохлоросарцина, плевраструм в числе других, выделенных из лесных почв Усолья-Сибирского и прилегающих территорий, включены в коллекцию культур водорослей СИФИБР СО РАН – IRK-A (всего 21 штамм) для дальнейших исследований.

В органоаккумулятивном горизонте изученных почв обнаружено от 2 до 17 видов водорослей (рис. 3). Среднее число видов в почвах всех изученных пунктов 10.9. В почвах лесных насаждений окрестностей г. Усолье-Сибирское оно составило 9.9, на территории МО – 11.7. Анализ систематической структуры на уровне отделов группировок водорослей показал, что в антропогенно нарушенных и ненарушенных почвах лесных фитоценозов она имеет сходные черты (рис. 4).



Рис. 3. Виды водорослей, впервые найденные в лесных почвах г. Усолье-Сибирского и его окрестностей.
а – *Neochlorosarcina* cf. *negevensis*; б – *Roholtiella* cf. *edaphica*.

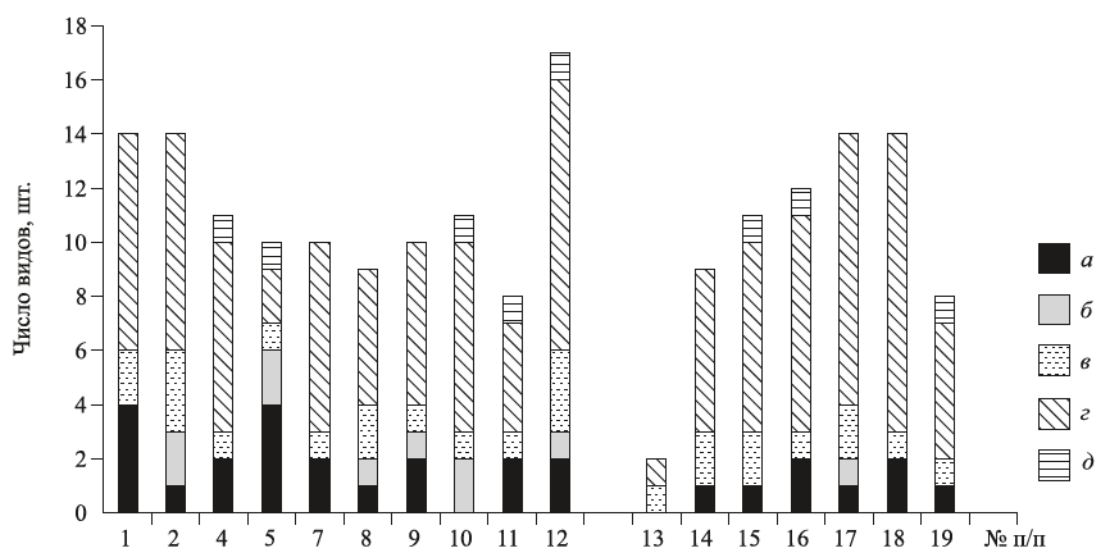


Рис. 4. Состав на уровне отделов группировок водорослей в лесных почвах г. Усолье-Сибирского и его окрестностей.

Водоросли: а – цианопрокариоты; б – диатомовые; в – желтозеленые; з – зеленые; д – харофиты.

В табл. 3 суммированы данные о составе водорослей лесных почв нескольких промышленных городов Иркутской области, расположенных в Иркутско-Черемховской равнинной впадине.

В составе почвенных альгокомплексов исследованных урбозкосистем преобладают хлорофитовые водоросли и цианопрокариоты. Ведущая роль принадлежит хлорофитовым, за исключением г. Иркутска, где по числу зарегистрированных видов выделяются цианопрокариоты.

В целом высокое разнообразие зеленых водорослей, а среди них коккоидных форм, наличие желтозеленых, относительно небольшое

число видов диатомовых водорослей, типичных для лесных почв умеренного увлажнения (Алексахина, Штина, 1984), наиболее свойственно кислым почвам хвойных фитоценозов (Перминова и др., 1989; Дутина и др., 1991; Мальцева, 2009; Novakovskaya et al., 2020; и др.).

Как отмечено выше, значительное число видов цианопрокариот выявлено в г. Иркутске (табл. 3). Вероятно, это связано с особенностями почвенно-растительных условий пунктов изысканий, которые включали газоны, придомовые территории, места вблизи водоколонок (Судакова, 2000). Этим же можно объяснить разнообразие в Иркутске требовательных к влаж-

Таблица 3. Состав альгокомплексов почв лесных насаждений г. Усолье-Сибирского и его окрестностей в сравнении с другими промышленными городами Иркутской области

Водоросли	Усолье-Сибирское	Саянск	Иркутск	Шелехов
Цианопрокариоты	17	5	44	29
Эвгленозои (Euglenozoa)	—	—	1	—
Желтозеленые	7	5	10	12
Диатомовые	4	3	20	9
Зеленые	47	18	25	31
Харофиты (Charophyta)	2	1	2	2
Всего ...	77	32	102	83

Примечание. По Саянску, Иркутску, Шелехову использованы материалы Е. А. Судаковой (Высоких, Судакова, 1994; Судакова и др., 1994; Судакова, 2000). Данные по Иркутску включают также сведения по водорослям газонов, придомовых территорий, мусорных свалок.

ности диатомовых водорослей. В Усолье-Сибирском число зарегистрированных цианопрокариот значительно меньше, чем в Иркутске и Шелехове, но превышает таковое в г. Саянске. Более бедный комплекс цианопрокариот в Усолье-Сибирском и Саянске объясняется в некоторой степени разовыми сборами почвенных образцов. В Усолье-Сибирском большее разнообразие цианопрокариот зарегистрировано в городских лесных насаждениях, чем на окрестных территориях (см. табл. 1). В целом почвам урбозкосистем Иркутской области свойственно подщелачивание (Шергина, Михайлова, 2007; Шергина и др., 2018; и др.). Некоторые исследователи полагают, что цианопрокариоты лучше адаптированы к щелочным субстратам (Большев, 1968; Голлербах, Штина, 1969). Вероятно, большее разнообразие цианопрокариот в лесных насаждениях города можно связать с более благоприятным для их функционирования рН. Повышенное содержание кальция в исследуемых почвах также может быть благоприятным фактором для развития цианопрокариот. К другим таким факторам относятся обеспеченность почв азотом. Недостаток азота способствует развитию азотфиксирующих водорослей в комплексе микрофототрофов (Zhang et al., 2009, 2011; и др.). В наших исследованиях диазотрофы преимущественно встречались в почвах городских лесных насаждений. По сравнению с фоновыми территориями эти почвы беднее азотом (Шергина и др., 2018).

Постоянным компонентом изученных нами альгокомплексов являются желтозеленые водоросли (рис. 4). Они обнаружены в почвах всех исследованных урбозкосистем Иркутской области (табл. 3). На заводских территориях Шелехова и Саянска эти водоросли отсутствовали (Высоких, Судакова, 1994; Судакова и др., 1994).

В Иркутске они обнаруживались в почвах дворов и парков, около водоколонок, хотя и с невысокой частотой встречаемости (Судакова, 2000). Желтозеленые водоросли предложено рассматривать в качестве индикаторов на загрязненные субстраты (Москвич, 1973). Ранее отмечали, что в районах воздействия промышленных предприятий желтозеленые нитчатые и влаголюбивые одноклеточные формы исчезают одними из первых (Хайбуллина и др., 2011). Нами не обнаружено такой закономерности для лесных почв г. Усолья-Сибирского, что может быть свидетельством сохранения ими своих свойств.

В результате исследований установлено, что число видов водорослей в районе наших работ несколько выше на загрязненных территориях, чем на фоновых. Тем не менее необходимы дополнительные исследования, чтобы установить, как влияет загрязнение на видовое разнообразие альгокомплексов. Наименьшее число видов (2) обнаружено в почве, не подверженной техногенному загрязнению, в окр. с. Арансахой. Повидимому, это связано с особенностями почвенно-растительных условий в данном местонахождении, к которым относятся невысокое содержание гумуса (3–4 %), слабая толщина гумусированного слоя (до 9–11 см) и сильная задернованность почвы с участием злаковых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные нами изыскания выявили значительное разнообразие видов почвенных водорослей в лесных насаждениях г. Усолья-Сибирского и его окрестностей. Состав и структура альгокомплексов лесных почв МО Усолье-Сибирского свидетельствует о сохранении ими общих черт, свойственных таковым почв естественных биогеоценозов. Число видов в альгокомплексах

отдельных лесных ассоциаций, расположенных на территории промышленных предприятий или вблизи них, сопоставимо с зарегистрированными в других пунктах изысканий. При этом альгокомплекс почв городских лесов и лесопарков имеет свои особенности, что связано с почвенно-растительными условиями изученных биотопов. В числе обнаруженных водорослей найдены новые для Байкальского региона виды.

Работа выполнена в рамках государственного задания, № проекта FWSS-2022-0002, а также при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, № проекта 20-44-380016 и при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2020-787 на реализацию крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (проект «Основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки на Байкальской природной территории»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенова Н. П., Баранова О. Г. Краткий обзор урбанофлоры эдафотрофных водорослей и цианобактериот г. Ижевска // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. «Биология. Науки о Земле». 2010. Вып. 1. С. 27–31.
- Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 150 с.
- Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). СПб.: Наука, 1998. 351 с.
- Андросова Е. А. О составе водорослей почв г. Новосибирска и его окрестностей // Тр. ЦСБС СО АН СССР. 1964. Вып. 8. С. 148–157.
- Артамонова В. С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 225 с.
- Большаков Н. Н. Водоросли и их роль в образовании почв. М.: МГУ, 1968. 84 с.
- Вишняков В. С. Местонахождения вошерий (*Vaucheria*, Xanthophyceae) в Иркутской области и Республике Бурятия // Тр. ИБВВ РАН. 2019. Вып. 85 (88). С. 44–45.
- Высоких Е. М., Судакова Е. А. Изменение почвенной биоты под влиянием промышленных выбросов цветной металлургии // Биология и экология в системе современного педагогического образования: материалы межвуз. науч.-практ. конф. Ч. 1. СПб.; Ставрополь, 1994. С. 55–56.
- Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 228 с.
- Дорохова М. Ф., Кошелева Н. Е., Терская Е. В. Экологическое состояние городских почв в условиях антропогенного засоления и загрязнения (на примере Северо-Западного округа Москвы) // Теор. прикл. экол. 2015. № 4. С. 16–24.
- Дутина О. П., Судакова Е. А., Захурнаева Н. Н. Почвенные альгосингузии лесных сообществ Прибайкалья // Рациональное использование и охрана растительных ресурсов Центральной Сибири: сб. науч. тр. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 1991. С. 39–48.
- Егорова И. Н. Новые виды в составе наземной альгофлоры Байкальского региона // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. «Биология. Экология». 2011. Т. 4. № 3. С. 18–22.
- Егорова И. Н., Максимова Е. Н. Наземные водоросли Байкальского региона: библиографический указатель. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2018. 87 с.
- Егорова И. Н., Шамбуева Г. С., Шергина О. В., Шинен Н. К экологии *Nostoc commune* (Cyanoprokaryota) из Южной Сибири и Монголии // Сиб. лесн. журн. 2019. № 1. С. 16–29.
- Егорова И. Н., Судакова Е. А., Максимова Е. Н., Тутикова Г. С. Наземные водоросли гор Южной Сибири и Северной Монголии // Бот. журн. 2020. Т. 105. № 2. С. 107–132.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2014. 768 с.
- Карпушин В. М. Агроклиматические ресурсы юга Восточной Сибири. Сер. карт из 9 листов. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1968. 9 л.
- Кондакова Л. В., Пирогова О. С., Ашихмина Т. Я. Сравнительный анализ альгофлоры пойменных биогеоценозов реки Вятки на территории ГПЗ «Нургуш» и Заречного парка г. Кирова // Теор. и прикл. экол. 2016. № 3. С. 68–75.
- Коновалова Т. И., Наговицина Е. И. Трансформация геосистем восточной части Предсаянского прогиба // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 34–52.
- Костіков І. Ю., Романенко П. О., Демченко Е. М., Дарієнко Т. М., Михайлюк Т. І., Рыбчинський О. І., Солоненко А. М. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори). Київ, 2001. 300 с. (на украин. яз.).
- Ломоносов И. С., Кустов Ю. И., Пиннекер Е. В. Минеральные воды Прибайкалья. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1977. 224 с.
- Лопатовская О. Г., Максимова Е. Н. Ионно-солевая и альгологическая характеристика снежного покрова как один из элементов оценки состояния окружающей среды // Пробл. рег. экол. 2010. № 3. С. 35–39.
- Мальцева І. А. Ґрунтові водорості лісів степової зони України. Мелітополь: Люкс, 2009. 312 с. (на украин. яз.).
- Масюк Н. П. Строение тела особи // Водоросли. Справочник. Киев: Наук. думка, 1989. С. 63–76.
- Москвич Н. П. Опыт использования водорослей при изучении санитарного состояния почв // Бот. журн. 1973. Т. 58. № 3. С. 412–416.
- Назаренко И. И. Сравнительный анализ таксономической структуры альгобактериальных сообществ города Красноярска, Сосновоборска и Железнодорожска // Акт. пробл. авиации и космонавтики. Техн. науки. 2013. Т. 1. С. 276–278.
- Напрасникова Е. В. Санитарно-микробиологические и биохимические свойства почв индустриального города Усолье-Сибирское // Сиб. мед. журн. 2019. Т. 159. № 4. С. 55–57.
- Перминова Г. Н., Гутшивили И. С., Кутаев Е. В. Почвенные водоросли фитоценозов Байкальского заповедника

- ка // Водоросли, лишайники, грибы и мохообразные в заповедниках РСФСР. Сб. науч. трудов ЦНИЛ Глав-охоты РСФСР. М., 1989. С. 17–26.
- Почвенная карта Иркутской области. М 1:1 500 000 / Под ред. В. Т. Колесниченко, К. А. Уфимцевой. М.: ГУГиК, 1988. 2 л.
- Седых Е. С., Заритов Р. Х. Ртуть в почвах Усольского промышленного района (Верхнее Приангарье) // Сиб. экол. журн. 2002. Т. 9. № 1. С. 21–29.
- Судакова Е. А. Особенности альгофлоры почв г. Иркутска // Проблемы экологии, биоразнообразия и охраны природных экосистем Прибайкалья. Сб. ст. к 80-летию каф. ботаники и генетики Иркут. гос. ун-та. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2000. С. 151–160.
- Судакова Е. А., Хворова Н. Б., Довыденко О. Е. Альгофлора почв окрестностей г. Шелехова // Актуальные проблемы биологии. Тез. докл. юбилей. науч. конф. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 1994. С. 88.
- Суханова Н. В., Фазлутдинова А. И., Хайбуллина Л. С. Диатомовые водоросли почв городских парков // Почвоведение. 2000. № 7. С. 840–846.
- Трухницкая С. М. Особенности сложения альгобактериальных ценозов селитебных территорий г. Красноярска // Вестн. КрасГАУ. 2012. Вып. 4. С. 152–157.
- Филонова Е. Н. Почвенные водоросли стрессированных тяжелыми металлами территорий долины малой реки (на примере р. Ельцовка-2 г. Новосибирск) // Сиб. экол. журн. 2001. Т. 8. № 4. С. 455–460.
- Хайбуллина Л. С., Суханова Н. В., Кабиров Р. Р. Флора и синтаксономия почвенных водорослей и цианобактерий урбанизированных территорий. Уфа: Гилем, 2011. 216 с.
- Шаманский В. Ф. Усолье-Сибирское: историко-экономический очерк. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1994. 217 с.
- Шергина О. В., Михайлова Т. А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2007. 200 с.
- Шергина О. В., Михайлова Т. А., Калугина О. В. Изменение биогеохимических показателей в сосновых лесах при техногенном загрязнении // Сиб. лесн. журн. 2018. № 4. С. 29–38.
- Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Штина Э. А. Методы изучения почвенных водорослей. Киров: Киров. с.-х. ин-т, 1981. 35 с.
- Algal culturing techniques / R. A. Andersen (Ed.). Elsevier Acad. Press, 2005. 578 p.
- Novakovskaya I. V., Dubrovskiy Y. A., Patova E. N., Novakovskiy A. B., Sterlyagova I. N. Influence of ecological factors on soil algae in different types of mountain tundra and sparse forests in the Northern Urals // Phycologia. 2020. V. 59. Iss. 4. P. 320–329.
- Rindi F., Guiri M. D. Composition and spatial variability of terrestrial algal assemblages occurring at the bases of urban walls in Europe // Phycologia. 2004. V. 43. Iss. 3. P. 225–235.
- Rindi F., Guiri M. D., López-Bautista Ju. M. Distribution, morphology, and phylogeny of *Klebsormidium* (Klebsormidiales, Charophyceae) in urban environments in Europe // J. Phycol. 2008. V. 44. Iss. 6. P. 1529–1540.
- Stanier R. Y., Kunisawa R., Mandel M., Cohen-Bazire G. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chlorococcales) // Bacteriol. Rev. 1971. V. 35. Iss. 2. P. 171–205.
- Starr R. C., Zeikus J. A. UTEX: The culture collection of algae at the University of Texas at Austin // J. Phycol. 1993. V. 29. Iss. s2. P. 1–106.
- Sukhanova N. V., Fazludinova A. I., Khaibullina L. S. Soil diatoms of urban parks // Eurasian Soil Science. 2000. V. 33. Iss. 7. P. 733–738 (Original Rus. Text © 2000, N. V. Sukhanova, A. I. Fazludinova, L. S. Khaibullina, publ. in Pochvovedenie. 2000. N. 7. P. 840–846).
- Zhang B. C., Zhang Yu. M., Zhao J. C., Wu N., Chen R. Y., Zhang J. Microalgal species variation at different successional stages in biological soil crusts of the Gurbantunggut Desert // Biol. Fertil. Soils. 2009. V. 45. Iss. 5. P. 539–547.
- Zhang B., Zhang Yu., Downing A., Niu Yu. Distribution and composition of Cyanobacteria and microalgae associated with biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, China // Arid Land Res. Manag. 2011. V. 25. Iss. 3. P. 275–293.

SOIL ALGAE OF FOREST STANDS OF THE TOWN OF USOL'E-SIBIRSKOE AND ITS SURROUNDING TERRITORIES (IRKUTSK OBLAST)

I. N. Egorova, G. S. Tupikova, O. V. Shergina

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Lermontov str., 132, Irkutsk, 664033 Russian Federation*

The article presents for the first time data on the composition and structure of algae groupings in gray forest soils of the town of Usol'e-Sibirskoe and its surrounding territories, exposed to technogenic pollution. Samples from 19 locations, mainly forest stands, located on the territory of the town (12 locations) and its surroundings (7 locations) were studied. Using culture-dependent methods, 77 species from five divisions of Cyanoprokaryota (22 % of the total number of species), Bacillariophyta (5 %), Ochrophyta (9 %), green algae (Chlorophyta) (61 %), Charophyta (3 %) were registered. The largest number of species are represented by green algae, which is typical for forest soils. A variety of Cyanoprokaryota species was noted in the soils of the town, which are characterized by lower acidity, increased content of exchangeable calcium, sodium, sulfur, and a lower content of total nitrogen compared to the background. In the studied forest stands on the territory of the town, the diversity of algae groupings was higher (the average number of species was 11.7) than in its surroundings (an average of 9.9 species). Composition and structure of algogroups of the studied forest soils of Usol'e-Sibirskoe testifies to their preservation of common features characteristic of such soils of natural biogeocenoses. According to the number of species, the distribution of species in the departments, the soil algocomplex of forest stands in the town of Usol'e-Sibirskoe and its surrounding territories is similar to those of other industrial centers of Irkutsk Oblast: Sayansk, Shelekhov, and Irkutsk.

Keywords: *algogroups, gray forest soils, biodiversity, technogenic pollution.*

How to cite: Egorova I. N., Tupikova G. S., Shergina O. V. Soil algae of forest stands of the town of Usol'e-Sibirskoe and its surrounding territories (Irkutsk Oblast) // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 66–77 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630*652.54 (571.513)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ БЕЙСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

И. А. Целитан¹, И. М. Данилин^{1, 2}

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

² Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева
660037, Красноярск, просп. им. газеты Красноярский рабочий, 31

E-mail: sjfs@ksc.krasn.ru, danilin@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 24.08.2022 г.

Обсуждается методика определения восстановительной и компенсационной стоимости и исчисления размера ущерба при рубках, повреждении, уничтожении зеленых насаждений, разработанная для сельскохозяйственных и муниципальных земель на территории Бейского района Республики Хакасия. Восстановительная стоимость зеленых насаждений определяется в расчете на одно дерево по формуле $C_v = C_{\text{сн}} \times Kd_{13}$. Переход от восстановительной стоимости к компенсационной стоимости обусловлен необходимостью учета в цене каждого оцениваемого дерева или кустарника различных аспектов их ценности. Компенсационная стоимость рассчитывается путем применения к восстановительной стоимости поправочных коэффициентов таких факторов, как их местоположение, фактическое состояние, экологическая и социальная значимость и определяется по формуле $C_{\text{кд}} = C_v \times K_t \times K_c \times K_{\text{сзз}} \times N_d$. В случаях, когда зеленые насаждения одновременно относятся к разным категориям, выделенным для учета их социально-экологической значимости, в расчетах стоимости принимается максимальное значение аналогичного коэффициента. Размер ущерба, причиненного незаконными рубками и (или) уничтожением зеленых насаждений, исчисляется размером компенсационной стоимости с применением повышающего коэффициента $K_{\text{н}} = 5$. При повреждении зеленых насаждений, не влекущем прекращение роста, ущерб исчисляется в размере 0.5 от компенсационной стоимости поврежденного зеленого насаждения. Оплата компенсационной стоимости срубаемых зеленых насаждений при их вынужденном сносе и ущерба при незаконных рубках, повреждении, уничтожении подлежит зачислению в бюджет муниципального образования Бейский район Республики Хакасия.

Ключевые слова: древесные породы, восстановительная и компенсационная стоимость, сельскохозяйственные и муниципальные земли, экономическая и экологическая оценка.

DOI: 10.15372/SJFS20220608

В России актуальна проблема учета и использования заброшенных сельскохозяйственных и муниципальных земель. По экспертным оценкам, в настоящее время более 80 млн га сельскохозяйственных угодий и муниципальных земель не используются по назначению и зарастают лесной растительностью (Векшин, 2017; Дятловская, 2017; Карабут, 2020). При сохранении данной ситуации площади неиспользуемых сельскохозяйственных и муниципальных земель, пригодных для ведения лесного хозяйства, к 2030 г. могут превысить 100 млн га.

С вступлением в силу 1 октября 2020 г. Постановления Правительства РФ от 21.09.2020 № 1509 (Постановление..., 2020) о легализации древесной растительности на землях сельскохозяйственного назначения возникает ряд вопросов об учете лесных ресурсов, экосистемных услуг, планировании и организации лесопользования, создании карбоновых полигонов, незаконных рубках, экономической и экологической оценке ущерба на этих землях (Региональные проблемы..., 2007; Бобылев, Захаров, 2009; Организация..., 2009; Потапова, 2016; Тихонова, 2016;

Целитан, 2016; Экосистемные услуги..., 2020; Карбоновые полигоны..., 2021).

В Республике Хакасия остро стоит проблема брошенных сельскохозяйственных и муниципальных земель, зарастающих лесом естественным образом, площадь которых превышает 100 тыс. га (Пачина, 2020).

В данной статье предпринята попытка разработки методики расчёта компенсационной стоимости зелёных насаждений и исчисления размера ущерба при незаконных рубках, повреждении, уничтожении зеленых насаждений на территории Бейского района Республики Хакасия в соответствии с требованиями и положениями Земельного кодекса РФ (2001), Федерального закона РФ «Об охране окружающей среды» (2002), Федерального Закона РФ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» (2003), Лесного кодекса РФ (2006), Красной книги РФ (2008), Постановления 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» (2007), Постановления Правительства РФ от 29.12.2018 № 1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства» (2018), Постановление Правительства Российской Федерации от 12.10.2019 № 1318 «О применении в 2021–2023 годах коэффициентов к ставкам платы за единицу объема лесных ресурсов и ставкам платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности» (2019), Постановления Правительства РФ от 21.09.2020 № 1509 «Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения» (2020), Закона Республики Хакасия от 01.11.2007 № 68-ЗРХ «Об установлении порядка по некоторым вопросам использования лесов на территории Республики Хакасия» (2007), Постановления Правительства Республики Хакасия от 14.10.2009 № 444 «Об утверждении схемы развития и размещения особо охраняемых природных территорий в Республике Хакасия на период до 2024 года» (2009), Постановления Правительства Республики Хакасия от 30.12.2019 № 728 «О переводе земельных участков, расположенных в Бейском районе, из категории земель сельскохозяйствен-

ного назначения в категорию земель лесного фонда» (2019), Сортиментных и товарных таблиц для древостоев Западной и Восточной Сибири (1991), Наставления по отводу и таксации лесосек в лесах РФ (1993), Лесотаксационного справочника для южно-таежных лесов Средней Сибири (Лесотаксационный справочник..., 2002), Приказа Федерального агентства лесного хозяйства от 03.02.2010 № 35 «Об отнесении лесов на территории Республики Хакасия к ценным лесам, эксплуатационным лесам и установлении их границ» (2010), Схемы территориального планирования Республики Хакасия (2011), Лесоустроительной инструкции (2018), Схемы территориального планирования Бейского района Республики Хакасия (2019), Красной книги Республики Хакасия (2012), Лесного плана Республики Хакасия (2019), Государственного доклада «О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2019 году» (2020), Приказа Минприроды России от 01.12.2020 № 993 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации» (2020).

Восстановительная стоимость зеленых насаждений определяется в расчете на одно дерево/куст по утвержденным Постановлением 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» (2007), ставкам платы за единицу объема лесных ресурсов, принятых для Хакасского лесотаксового района.

Восстановительная стоимость деревьев определяется по формуле

$$C_b = C_{\text{сп}} \times Kd_{1,3}, \quad (1)$$

где C_b – восстановительная стоимость дерева, руб.; $C_{\text{сп}}$ – ставка платы, утвержденная Постановлением Правительства РФ от 22.05.2007 № 310 (2007) по основным лесообразующим породам для Хакасского лесотаксового района, руб.; $Kd_{1,3}$ – поправочный коэффициент по древесным породам, по диаметру на высоте 1.3 м.

Пример ставок платы за разные виды древесных пород в Бейском районе Республики Хакасия для 1-го разряда такс, категория древесины – деловая средняя показаны в табл. 1.

Значительную часть Бейского района занимают степные и лесные особо охраняемые природные территории (памятники природы,

Таблица 1. Ставки платы за древесные породы на территории Бейского района Республики Хакасия

Древесная порода	Ставка платы, руб.
Основные древесные породы	
Сосна сибирская кедровая (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.)	73.80
С. обыкновенная (<i>P. sylvestris</i> L.)	61.56
Ель сибирская (<i>Picea obovata</i> Ledeb.), пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i> Ledeb.)	55.26
Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i> Ledeb.)	49.32
Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	30.78
Осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха белая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench.), тополь (<i>Populus</i> L.)	6.30
Неосновные древесные породы	
Каштан конский (<i>Aesculus</i> L.)	317.88
Акация белая (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.), актинидия (<i>Actinidia</i> Lindl.), можжевельник (<i>Juniperus</i> L.), облепиха (<i>Hippophae</i> L.)	176.40
Бересклет (<i>Euonymus</i> L.)	142.20
Барбарис (<i>Berberis</i> L.), мелкоплодный ольхолистный (<i>Micromeles alnifolia</i> (Siebold et Zucc.) Koehne), падуб (<i>Ilex</i> L.), шиповник (<i>Rosa</i> L.)	105.84
Бирючина (<i>Ligustrum</i> L.), бобовник (<i>Laburnum</i> Fabr.), боярышник (<i>Crataegus</i> Tourm. ex L.), дерен белый (<i>Cornus alba</i> L.), ирга (<i>Amelanchier</i> Medik.), кизил (<i>Cornus</i> L.), калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i> L.), карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i> Lam.), каркас (<i>Celtis</i> L.), кедровый стланик (<i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel.), крушина (<i>Frangula</i> Mill.), лещина (<i>Corylus</i> L.), пираканта (<i>Pyracantha</i> M. Roem.), робиния (<i>Robinia</i> L.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), сирень (<i>Syringa</i> L.), слива (<i>Prunus</i> L.), спирея (<i>Spiraea</i> L.), смородина черная (<i>Ribes nigrum</i> L.), смородина красная (<i>Ribes rubrum</i> L.), су́мах (<i>Rhus</i> L.), тёрн (<i>Prunus spinosa</i> L.), черемуха обыкновенная (<i>Prunus padus</i> L.)	70.56
Аморфа (<i>Amorpha</i> L.), бузина (<i>Sambucus</i> L.), жимолость алтайская (<i>Lonicera altaica</i> Pall. ex DC.), ива (<i>Salix</i> L.), лох (<i>Elaeagnus</i> L.), рододендрон (<i>Rhododendron</i> L.), пуэрария (<i>Pueraria</i> DC.), чозения (<i>Chosenia</i> Nakai)	35.28

Примечание. Ставки платы за единицу объема древесины лесных насаждений для неосновных древесных пород берутся по 3-му лесотаксовому поясу, Сибирский федеральный округ, Республика Хакасия. При высоте кустарников свыше 3 м применяется поправочный коэффициент 2.0.

государственные природные заказники, особо ценные лесные насаждения). В степной флоре преобладают травянистые многолетники (примерно 70 %), основу которых составляют виды семейства злаковых (Poaceae Barnhart), бобовых (Fabaceae Lindl.), сложноцветных (Asteraceae Bercht. & J. Presl), лилейных (Liliaceae Juss.), лютиковых (Ranunculaceae Juss.), розоцветных (Rosaceae Perleb), осоковых (Cyperaceae Juss.), зонтичных (Apiaceae Lindl.) и др. Одно- и двулетники составляют примерно 20 %, представленные семействами крестоцветных (Brassicaceae Burnett), маревых (Chenopodiaceae Burnett), сложноцветных, бурачниковых (Boraginaceae Juss.), среди них – астрагал свернутый (*Astragalus contortuplicatus* L.), гвоздика разноцветная (*Dianthus versicolor* Fisch. ex Link), гетеропапрус двулетний (*Heteropappus biennis* (Ledeb.) Tamamsch. ex Grubov), ирис двучешуйный (*Iris bighumis* Vahl), карагана карликовая (*Caragana pygmaea* (L.) DC.), клевер ползучий

(*Trifolium repens* L.), клоповник стеблеобъемлющий (*Lepidium amplexicaule* Willd.), лапчатка вильчатая (*Potentilla bifurca* L.), л. длиннолистная (*P. longifolia* Willd. ex Schltdl.), льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.), ноня русская (*Nonea rossica* Steven), подмаренник настоящий (*Galium verum* L.).

Значительную роль в степной флоре играют кустарнички и полукустарнички (примерно 5 %). Редкие и исчезающие растения, занесенные в Красные книги Российской Федерации (2008) и Республики Хакасия (2012), произрастающие в Бейском районе, представлены астрагалами – аркалыкским (*Astragalus arkalycensis* Bunge), Ионы (*A. ionae* Palib.), крупнокрылым (*A. macropterus* DC.), крупнорогим (*A. macroceras* C. A. Mey. ex Bong.), морщинистоплодным (*A. rytidocarpus* Ledeb.), гюльденштедтией весенней (*Gueldenstaedtia verna* (Georgi) Boriss.), лядвенцом Сергиевской (*Lotus sergievskiae* Kamelin & Kovalevsk.), остролодочниками – во-

лосистоплодным (*Oxytropis eriocarpa* Bunge), заключающим (*O. includens* Basil.), крупнофлаговым (*O. macrosema* Bunge), нагим (*O. nuda* Basil.), наклоненным (*O. deflexa* (Pall.) DC.), песколюбивым (*O. amphotyla* Turcz.), пузырчатым (*O. ampullata* (Pall.) Pers.), тонколистным (*O. leptophylla* (Pall.) DC.), узколисточковым (*O. stenofoliola* Polozh.), ревнем компактным (*Rheum compactum* L.), ковыльчиком мелкоцветковым (*Ptilagrostis minutiflora* V. S. Titov ex Roshev.) Czerep.), ковылями – Залесского (*Stipa zalesskii* Wilensky), перистым (*S. pennata* L.), двулепестником парижским (*Circaea lutetiana* L.), колокольчиком алтайским (*Campanula altaica* Ledeb.), гусинным луком длиннострелковым (*Gagea longiscapa* Grossh.), луносемянником даурским (*Menispermum dauricum* DC.), адонисом весенним (*Adonis vernalis* L.), василисником байкальским (*Thalictrum baicalense* Turcz. ex Ledeb.), маком хакасским (*Papaver chakassicum* Peschkova), мытником шероховатокосым (*Pedicularis lasiostachys* Bunge), венериными башмачками – крупноцветковым (*Cypripedium macranthum* Sw.), настоящим (*C. calceolus* L.), вальдштейнией тройчатой (*Waldsteinia ternata* (Steph.) Fritsch), лапчаткой сжатой (*Potentilla conferta* Bunge), спиреей трехлопастной (*Spiraea trilobata* L.), селитрянкой сибирской (*Nitraria sibirica* Pall.), пепельником пурпуровым (*Tephrosia porphyrantha* (Schischk.) Holub), полынью Мартянова (*Artemisia martjanovii* Krasch. ex Poljakov), фиалками – надрезанной (*Viola incisa* Turcz.), пальчатой (*V. dactyloides* Schult.), Селькирка (*V. selkirkii* Pursh ex Goldie), кривокучником сибирским (*Camptosorus sibiricus* Rupr.).

Постановлением Правительства Российской Федерации от 12.10.2019 № 1318 «О применении в 2021–2023 гг. коэффициентов к ставкам платы за единицу объема лесных ресурсов и ставкам платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности» (2019), ставки платы за заготовку древесины в 2022 г. применяются с коэффициентом 2.83, в 2023 г. – 2.94 (это означает увеличение ставок в 2022 г. по сравнению с 2021 г. на 3.9 %).

Ставки платы за остальные виды лесных ресурсов применяются в 2022 г. с коэффициентом 2.44, в 2023 г. – 2.54 (это означает увеличение ставок в 2022 г. по сравнению с 2021 г. на 3.7 %).

Коэффициенты индексации ставок платы за единицу объема лесных ресурсов и ставок пла-

ты за единицу площади лесного участка, а также за остальные виды лесных ресурсов подлежат изменению в соответствии с законодательством Российской Федерации в 2024 г.

Переход от восстановительной стоимости к компенсационной обусловлен необходимостью учета в цене каждого оцениваемого дерева или кустарника различных аспектов их ценности.

Компенсационная стоимость зеленых насаждений рассчитывается путем применения к восстановительной стоимости поправочных коэффициентов, позволяющих учесть влияние на ценность зеленых насаждений таких факторов, как местоположение, фактическое состояние, экологическая и социальная значимость зеленых насаждений, и определяется по формуле

$$C_{\text{зд}} = C_{\text{в}} \times K_{\text{т}} \times K_{\text{с}} \times K_{\text{сз}} \times N_{\text{д}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{зд}}$ – компенсационная стоимость насаждения, руб.; $C_{\text{в}}$ – восстановительная стоимость дерева, руб.; $K_{\text{т}}$ – территориальный коэффициент; $K_{\text{с}}$ – коэффициент состояния дерева; $K_{\text{сз}}$ – коэффициент социально-экологической значимости; $N_{\text{д}}$ – число удаляемых деревьев, шт.

Компенсационная стоимость древесно-кустарникового насаждения рассчитывается по формуле

$$C_{\text{кк}} = C_{\text{в}} \times K_{\text{т}} \times K_{\text{с}} \times K_{\text{сз}} \times N_{\text{к}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{кк}}$ – компенсационная стоимость древесно-кустарникового насаждения, руб.; $C_{\text{в}}$ – восстановительная стоимость кустарника, руб.; $K_{\text{т}}$ – территориальный коэффициент; $K_{\text{с}}$ – коэффициент состояния кустарника; $K_{\text{сз}}$ – коэффициент социально-экологической значимости; $N_{\text{к}}$ – число удаляемых кустарников, шт.

Поправочные коэффициенты к восстановительной стоимости зеленых насаждений приведены в табл. 2–5.

При создании карбоновых полигонов на территории Бейского района, расчет показателей фитомассы и углерододепонирующих функций зеленых насаждений рекомендуется производить с использованием региональных моделей оценки фитомассы А. З. Швиденко с соавт. (Таблицы..., 2008).

Размер ущерба, причиненного незаконными рубками и (или) уничтожением зеленых насаждений, исчисляется размером компенсационной стоимости вырубленных и (или) уничтоженных зеленых насаждений с применением повышающего коэффициента $K_{\text{п}} = 5$.

Таблица 2. Поправочные коэффициенты (1) для основных древесных пород по диаметрам стволов на высоте 1.3 м от основания и размер восстановительной стоимости, руб. (2)

Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	Сосна сибирская кедровая		Сосна обыкновен- ная		Лиственница сибирская		Ель сибирская		Пихта сибирская		Береза повислая		Осина, тополь бальзамиче- ский (<i>Populus balsamifera</i> L.), ольха белая	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
8	0.04	2.95	0.04	2.46	0.04	1.97	0.04	2.21	0.04	2.21	0.04	1.23	0.04	0.25
12	0.12	8.86	0.12	7.39	0.12	5.92	0.10	5.53	0.12	6.63	0.10	3.08	0.09	0.57
16	0.23	16.97	0.25	15.39	0.23	11.34	0.21	11.60	0.25	13.82	0.21	6.46	0.22	1.39
20	0.40	29.52	0.42	25.86	0.39	19.23	0.36	19.89	0.44	24.31	0.35	10.77	0.39	2.46
24	0.61	45.02	0.61	37.55	0.61	30.09	0.59	32.60	0.70	38.68	0.53	16.31	0.61	3.84
28	0.87	64.21	0.87	53.56	0.87	42.91	0.86	47.52	1.03	56.92	0.75	23.09	0.87	5.48
32	1.16	85.61	1.17	72.03	1.20	59.18	1.17	64.65	1.42	78.47	1.01	31.09	1.20	7.56
36	1.51	111.44	1.50	92.34	1.57	77.43	1.55	85.65	1.86	102.78	1.30	40.01	1.55	9.77
40	1.89	139.48	1.87	115.12	2.02	99.63	1.96	108.31	2.35	129.86	1.64	50.48	1.95	12.29
44	2.31	170.48	2.29	140.97	2.48	122.31	2.43	134.28	2.87	158.60	1.99	61.25	2.37	14.93
48	2.80	206.64	2.74	168.67	3.00	147.96	2.94	162.46	3.43	189.54	2.39	73.56	2.83	17.83
52	3.30	243.54	3.35	206.23	3.54	174.59	3.50	193.41	3.99	220.49	2.82	86.80	—	—
56	3.86	284.87	3.74	230.23	4.10	202.21	4.08	225.46	—	—	3.29	101.27	—	—
60	4.46	329.15	4.30	264.71	4.69	231.31	4.72	260.83	—	—	3.78	116.35	—	—
64	5.10	376.38	4.90	301.64	5.34	263.37	5.38	297.30	—	—	—	—	—	—
68	5.77	425.83	5.53	340.43	5.99	295.43	6.10	337.09	—	—	—	—	—	—
72	6.49	478.96	6.19	381.06	6.70	330.44	6.84	377.98	—	—	—	—	—	—
76	7.25	535.05	6.88	423.53	7.46	367.93	—	—	—	—	—	—	—	—
80	8.05	594.09	—	—	8.23	405.90	—	—	—	—	—	—	—	—
84	8.89	656.08	—	—	9.07	447.33	—	—	—	—	—	—	—	—
88	9.78	721.76	—	—	9.92	489.25	—	—	—	—	—	—	—	—
92	10.70	789.66	—	—	10.80	532.66	—	—	—	—	—	—	—	—
96	11.66	860.51	—	—	11.77	580.50	—	—	—	—	—	—	—	—
100	12.66	934.31	—	—	12.73	627.84	—	—	—	—	—	—	—	—
104	13.70	1011.06	—	—	13.73	677.16	—	—	—	—	—	—	—	—
108	14.78	1090.76	—	—	14.77	728.46	—	—	—	—	—	—	—	—
112	15.89	1172.68	—	—	15.83	780.74	—	—	—	—	—	—	—	—

В случае невозможности определения видо-вого состава и фактического состояния выруб-ленных и (или) уничтоженных зеленых насаж-дений исчисление размера ущерба проводится по максимальной восстановительной стоимости основных древесных пород (табл. 2).

При повреждении зеленых насаждений, не влекущем прекращение роста, ущерб исчисля-ется в размере 0.5 от компенсационной стоимо-сти поврежденного зеленого насаждения.

Размер ущерба, причиненного незаконными рубками и (или) уничтожением зеленых насаж-

дений, с применением повышающих коэффици-ентов определяется с учетом их размещения и режима пользования, согласно схеме территори-ального планирования Бейского района Респу-блики Хакасия (Схема..., 2019) (см. рисунок).

Оплата компенсационной стоимости сно-симых зеленых насаждений при вынужден-ном сносе и ущерба при незаконных рубках, повреждении, уничтожении зеленых насажде-ний подлежит зачислению в бюджет муници-пального образования Бейский район Республи-ки Хакасия.

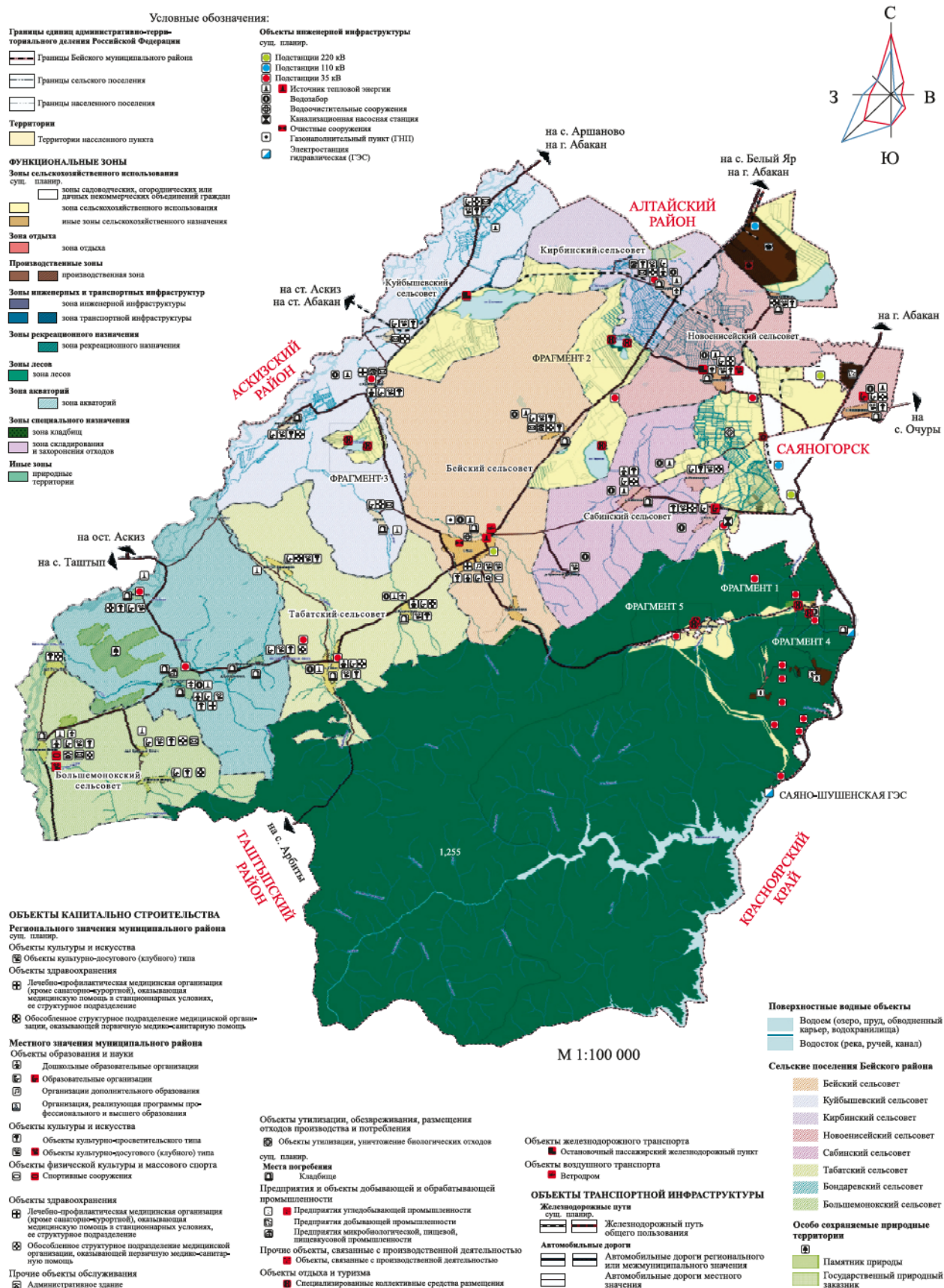


Схема территориального планирования Бейского района Республики Хакасия (Схема..., 2019).

Таблица 3. Территориальные коэффициенты

Категории земель произрастания зеленых насаждений	Территориальный коэффициент
Земли населенных пунктов и рекреационные территории	2.5
Земли промышленности	2.0
Садовые (дачные) некоммерческие товарищества	2.0
Земли инженерной и транспортной инфраструктуры	1.5
Земли сельскохозяйственного назначения, земли запаса, земли, категория которых не установлена, земли иных категорий	1.0

Таблица 4. Коэффициенты социально-экологической значимости

Категория озелененной территории	Коэффициент социально-экологической значимости
Зеленые насаждения памятников природы, а также зеленые насаждения, расположенные в границах памятников истории и культуры и т. п.	3.5
Зеленые насаждения озелененных территорий общего пользования и озелененных территорий ограниченного пользования	2.5
Зеленые насаждения в прибрежной и водоохраной зоне открытого водотока (водоема)	2.5
Защитные зеленые насаждения на землях сельскохозяйственного назначения	2.0
Зеленые насаждения, расположенные вдоль автомобильных и железных дорог, в пределах санитарно-защитных зон	1.5
Зеленые насаждения на землях мелиоративного фонда, требующие проведения культурно-технической мелиорации	1.0
Остальные категории зеленых насаждений	1.5

Таблица 5. Коэффициент состояния зеленых насаждений

Характеристика состояния зеленых насаждений	Коэффициент состояния растений
Хорошее*, удовлетворительное**	1.0
Неудовлетворительное***	0.5

Примечание. В случаях, когда зеленые насаждения одновременно относятся к разным категориям, выделенным для учета их социально-экологической значимости, в расчетах стоимости принимается максимальное значение аналогичного коэффициента.

* Зеленые насаждения без признаков заболеваний и повреждений болезнями или вредителями, без механических повреждений, нормального развития, густо облиственные, окраска и размер листьев (хвон) нормальные.

** Зеленые насаждения условно здоровые (заболевания есть, но они в начальной стадии или имеют повреждения вредителями, которые можно устранить), с неравномерно развитой кроной, недостаточно облиственные (количество сухих побегов в кроне до 10–15 %), с наличием незначительных механических повреждений.

*** Зеленые насаждения со слабо развитой кроной, сухостершинностью, усыханием кроны более 20 %, комплексом признаков заболеваний (дупла, обширные сухобочины и т. д.), признаками заселения стволовых вредителей, значительными механическими повреждениями, относятся к растениям категории неудовлетворительного состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бобылев С. Н., Захаров В. М. Экосистемные услуги и экономика. М.: Центр экол. политики России, 2009. 72 с.
- Векшин В. Н. Для решения проблемы «белых пятен» в Красноярском крае проводится инвентаризация бесхозных земельных участков, на которых расположены леса // ЛПК Сибири. 2017. № 4. <https://lpk-sibiri.ru/forest-industry/vladimir-vekshin-dlyaresheniya-problemy-belyh-pyaten-v-krasnoyarskomkrae-provoditsya-inventarizatsiya-beshoznyh-zemelnyhuchastkov-na-kotoryh-raspolozheny-lesa/>
- Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2019 году». Абакан: Мин-во природных ресурсов и экологии Республики Хакасия, 2020. 182 с.
- Дятловская Е. В. В России не используется 44 % сельхозугодий // Агроинвестор. 5 декабря 2017. <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/29033-44-selkhozugodiy-v-rossii-ne-ispolzuyutsya/>

- Закон Республики Хакасия от 01.11.2007 N 68-ЗРХ «Об установлении порядка по некоторым вопросам использования лесов на территории республики Хакасия» (с изм. на 21.07.2020 N 28-ЗРХ). Абакан, 2007.
- Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 14.07.2022). М., 2001.
- Карабут Т. Правительство определило признаки неиспользуемых сельхозземель // Рос. газ. 24.09.2020. <https://rg.ru/2020/09/24/pravitelstvo-opredelilo-priznaki-neispolzuemyh-selhozzemel.html>
- Карбоновые полигоны Российской Федерации: Минобрнауки – Пилотный проект. Итоги первого года. М.: Инконсалт, 2021. 26 с. <https://carbon-polygons.ru/images/almanac-carbon-polygons-2021.pdf>
- Красная книга Республики Хакасия: Редкие и исчезающие виды растений и грибов / отв. ред. Е. С. Анкипович. 2-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: Наука, 2012. 288 с.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.
- Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 26.03.2022). М., 2006.
- Лесной план Республики Хакасия. Действует с 01.01.2019 г. по 31.12.2028 г. Абакан: Мин-во природ. рес. и экол. Респ. Хакасия, 2019. <http://minprom19.ru/dokumenty/lesnoj-plan-respubliki-khakasiya/>
- Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири: справ. изд. / сост. С. Л. Шевелев, В. В. Кузьмичев, Н. В. Павлов, А. С. Смольянов. М.: ВНИИЛМ, 2002. 166 с.
- Лесоустроительная инструкция. Утв. Приказом Минприроды России от 29 марта 2018 г. № 122 (ред. от 12.05.2020). М.: Минприроды России, 2018. 76 с.
- Наставление по отводу и таксации лесосек в лесах РФ. Утв. Приказом Федеральной службы лесного хозяйства РФ от 15.06.1993 г. № 155. М.: Рослесхоз, 1993.
- Организация устойчивого лесопользования в Красноярском крае / В. А. Соколов, А. А. Онучин, С. К. Фарбер, А. С. Шишкин, Т. А. Буренина, Г. С. Варакин, Э. Ф. Ведрова, О. П. Втюрина, И. М. Данилин, В. В. Иванов, К. С. Коневина, Н. С. Кузьмик, А. А. Лалетин, А. П. Лалетин, И. В. Соколов, В. В. Чупрова, А. З. Швиденко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 361 с.
- Пачина А. Перевод сельхозземель в лесной фонд обсудили в Хакасии // Хакасия. Респ. интернет-изд. 09 сентября 2020. <https://gazeta19.ru/index.php/v-khakasii/item/49476-perevod-selkhozzemel-v-lesnoj-fond-obsudili-v-khakasii>
- Постановление Правительства Российской Федерации от 22.05.2007 № 310 (ред. от 29.11.2021 г.) «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 Российской Федерации от 29 декабря 2018 г. N 1730 (в ред. от 18.12.2020 г. № 2164) «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства». М.: Правительство РФ, 2018.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 12 октября 2019 г. N 1318 «О применении в 2021–2023 годах коэффициентов к ставкам платы за единицу объема лесных ресурсов и ставкам платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности». М.: Правительство РФ, 2019.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2020 г. № 1509 (с изм. и доп. от 8.06.2022 г. N 1043) «Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения». М.: Правительство РФ, 2020.
- Постановление Правительства Республики Хакасия от 14.10.2009 N 444 «Об утверждении схемы развития и размещения особо охраняемых природных территорий в Республике Хакасия на период до 2024 года» (в ред. от 16.04.2021 N 189). Абакан: Правительство Республики Хакасия, 2009.
- Постановление Правительства Республики Хакасия от 30.12.2019 N 728 «О переводе земельных участков, расположенных в Бейском районе, из категории земель сельскохозяйственного назначения в категорию земель лесного фонда». Абакан: Правительство Республики Хакасия, 2019.
- Потапова Е. В. Экосистемные услуги озелененных территорий поселений // Бюл. науки и практики. 2016. № 9 (10). С. 36–41.
- Приказ Минприроды России от 01.12.2020 N 993 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации». М.: Минприроды России, 2020.
- Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 03.02.2010 № 35 «Об отнесении лесов на территории Республики Хакасия к ценным лесам, эксплуатационным лесам и установлении их границ». М.: Рослесхоз, 2010.
- Региональные проблемы экосистемного лесоводства / под ред. А. А. Онучина. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 330 с.
- Сортиментные и товарные таблицы для древостоев Западной и Восточной Сибири. Утв. Председателем Гослесхоза СССР А. С. Исаевым. Приказ № 177 от 21.11.1989 г. Красноярск, 1991. 145 с.
- Схема территориального планирования Бейского района Республики Хакасия. Карта планируемого размещения объектов местного значения муниципального района. Новосибирск: СибНИИ градостроительства, 2019. 1 лист М 1:100000.
- Схема территориального планирования Республики Хакасия (с изм. на 26.05.2021), утв. Постановлением Правительства Республики Хакасия от 14.11.2011 № 763 (в ред. от 26.05.2021 N 261). Абакан: Правительство Республики Хакасия, 2011.
- Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко, С. Нильссон, Ю. И. Булуй. Изд. 2-е, доп. М.: Фед. агентство лесн. хоз-ва; Междунар. ин-т прикл. сист. анализа (IIASA), 2008. 886 с.
- Тихонова Т. В. Экосистемные услуги: роль в региональной политике и подходы к оценке // Изв. Коми науч. центра УрО РАН. 2016. № 3 (27). С. 134–142.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. 26.03.2022 г.). М., 2002.
Федеральный закон «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» от 06.10.2003 г. № 131-ФЗ. М., 2003.
Целитан И. А. Экономико-экологическая оценка аграрного землепользования с учетом воздействия опасных

природных явлений // Экономика и управление. 2016. № 6 (128). С. 34–38.

Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учета в России / под ред. Е. Н. Букваревой, Т. В. Свиридовой. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2020. Т. 2. 252 с.

VALUATION OF THE COST OF GREEN STANDS IN BEYSKY DISTRICT, REPUBLIC OF KHAKASSIA

I. A. Tselitan¹, I. M. Danilin^{1, 2}

¹ 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

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
Prospekt Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049 Russian Federation

E-mail: sjfs@ksc.krasn.ru, danilin@ksc.krasn.ru

The methodology for valuating regeneration and compensation cost and calculating the amount of damage in case of logging, damage, destruction of green stands, developed for agricultural and municipal lands in the territory of Beysky district of the Republic of Khakassia, is discussed. The replacement cost of green stands is determined per one tree / one bush and is determined by the formula $S_v = C_{sp} \times Kd_{1.3}$. The transition from replacement cost to compensation cost is due to the need to take into account in the price of each tree or shrub being valued various aspects of their value. The compensation cost is calculated by applying correction factors to the replacement cost, such factors as their location, actual condition, environmental and social significance, and is determined by the formula $S_{kd} = S_v \times K_t \times K_s \times K_{sez} \times N_d$, where S_{kd} . In cases where green spaces simultaneously belong to different categories allocated to take into account their social and environmental significance, the maximum value of a similar coefficient is taken into account in cost calculations. The amount of damage caused by illegal logging and (or) destruction of green spaces is calculated at the amount of the compensation cost using the multiplying coefficient $K_n = 5$. cost of damaged green stand. Payment of the compensation cost of cut down green stands in case of forced demolition and damage in case of illegal logging, damage, destruction of green stands shall be credited to the budget of the municipal formation of Beysky district of the Republic of Khakassia.

Keywords: tree species, regeneration and compensation cost, agricultural and municipal lands, economic and environmental evaluation.

How to cite: Tselitan I. A., Danilin I. M. Valuation of the cost of green stands in Beysky district, Republic of Khakassia // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 78–86 (in Russian with English abstract and references).

МНЕНИЕ УЧЕНОГО

УДК 630

ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ЛЕСА НА РАЗДУВАХ

В. Н. Седых

*Западно-Сибирское отделение Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН –
филиал ФИЦ КНЦ СО РАН
630082, Новосибирск, ул. Жуковского, 100/1*

E-mail: tayga-eko@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.08.2022 г.

В статье впервые рассматриваются вопросы естественного возобновления леса на раздувах – своеобразных пустынь северной тайги и лесотундры Западной Сибири, возникших на месте автоморфных сосновых насаждений, разрушенных природными и техногенными воздействиями. В процессе рекогносцировочного обследования нескольких раздувов установлено, что главным фактором, препятствующим естественному возобновлению леса на этих своеобразных пустынях Севера, является ветер. В связи с этим лесообразование на них осуществляется только на участках, примыкающих с подветренной стороны стен леса и в пониженных местах, а также в пустотах между крупномерными порубочными остатками, засыпанных песком.

Ключевые слова: *пустыни северной тайги, ветровая эрозия, лесообразовательный процесс, Западная Сибирь.*

DOI: 10.15372/SJFS20220609

ВВЕДЕНИЕ

К одним из множества негативных последствий освоения нефтегазовых месторождений северной тайги и лесотундры Западной Сибири относятся уникальные образования – раздувы – размером от одного и до десятков гектаров. Они приурочены к участкам с пологоволнистым рельефом с отсутствием всякой растительности и сложены песчаными отложениями, верхние горизонты которых подвержены постоянной ветровой эрозии. Такой тип нарушений лесных земель распространен повсеместно в северной тайге и лесотундре (Шилова, 1980; Антонов-Дружинин, 1987; Седых, 1997, 2016). Происхождение этих образований связано не только с техногенными воздействиями, но и с естественными природными процессами. Раздувы под воздействием ветров без вмешательства человека обычно возникают на территориях, сложенных мощными отложениями песка, занятых, как правило, сосновыми древостоями с живым

лишайниковым напочвенным покровом. В перестойных сосняках на месте отпавших деревьев образуются выемки песка, которые в засушливые годы под воздействием ветра увеличиваются, смыкаются между собой, и на месте сосняков образуются участки различного размера, лишенные растительности, называемые на севере «раздувами». Во влажные периоды этот процесс может и не происходить. На месте вывалившихся деревьев появляется самосев сосны, который по мере роста закрепляет выемки песка. Накапливающийся подрост на месте выемок становится надежным заслоном на пути развития ветровой эрозии песка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для написания краткой статьи использованы материалы, полученные в результате проведения рекогносцировочных обследований этих северных техногенных образований – раздувов, неоднократно посещаемых автором. Как выясни-

лось, исследованиями лесообразований на них никто не занимался и пришлось познакомить лесоводов с началом естественного возобновления лесов, возникших на песках, перевиваемых ветрами. Приведенные в статье фотографии наглядно демонстрируют возобновление сосны на раздувах на месте разрушенных сосняков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Раздувы техногенного происхождения, возникшие при прокладке магистральных и площадных сооружений, в результате уничтожения древостоев, срезания и перемещения грунтов, представляют собой гигантские территории голого песка, переметаемые ветрами (рис. 1–4).

Вид этих участков, покрытых песком, как у обывателей, так и у природоведов вызывает недоумение: как человек, вооруженный современной техникой и знаниями, мог допустить появление этого монстра – пустынь на Крайнем Севере среди озер, болот, мерзлоты, лесов? Неужели с появлением их очагов своевременно нельзя было спохватиться и предпринять все возможное, чтобы не допустить их развития. Средства массовой информации и наука с самого начала освоения углеводородов Крайнего Севера и до последнего времени сообщают о возможных отрицательных воздействиях нефтегазового комплекса на природную среду, не приводя каких-либо конкретных предложений и совершенно не замечая появления агрессивных экспансивных пустынь, сокрушающих все живое на своем пути (рис. 4–6).

Эти пустыни Севера характеризуются ярко выраженными пологоувалистыми поверхностями с наличием форм рельефа барханного типа южных пустынь. На них редко встречаются отдельные погибшие деревья бывших древостоев с обнаженными корнями или, наоборот, наполовину засыпанные песком. Возобновление древесных растений, в частности сосны, сильно подавлено. Оно преимущественно распространено с подветренной стороны леса на слабо расчлененных поверхностях или между песчаными валами техногенного происхождения (рис. 6), а также в виде отдельных группировок особей сосны, приуроченных к локальным пониженным участкам вблизи древостоев (рис. 7).

Наряду с этими условиями встретился участок, сложенный из небольшой кучки нарубленного древесного материала, рядом с которым закрепились сосны (рис. 8).

Наиболее надежное возобновление сосны, березы, осины и лиственницы сосредоточено в глубоко пониженных формах рельефа, сложенных увлажненным песками и легкими суглинками (рис. 9).

В них отмечено до 1–10 тыс. особей древесных растений, которые успешно развиваются и по мере закрепления песков могут стать источником расселения древесных растений на раздувах. Здесь также присутствуют группировки ивы, которые, будучи первыми поселенцами, вместе с травянистыми растениями формируют благоприятные условия для возобновления главной лесообразующей породы – сосны – и ей сопутствующих лесообразователей, наличие которых следует рассматривать в качестве объектов, важных для понимания процессов образования лесов на раздувах. Это вызывает необходимость изучения лесорастительных условий и появления на них древесных растений. Знания среды их обитания в северных пустынях могли бы быть успешно использованы в разработке технологий рекультивации раздувов, возникших по вине человека.

На открытых участках, расположенных далеко от стен леса, подверженных постоянно действующим ветрам, возобновление леса практически не осуществляется, за исключением отдельных редких особей сосны, закрепившихся на голых песках.

Наряду с раздувами, характеризующимися перевиваемыми песками, встречаются также пространства голого песка с уплотненной поверхностью, покрытые тонкой коркой связанного грунта. На них также изредка встречаются молодые одиночные сосны, возникшие чаще всего в мелких бороздах уплотненного песка, оставленных техникой (рис. 10).

Наиболее надежное возобновление древесных растений, как и на раздувах, приурочено к глубоко пониженным увлажненным местообитаниям. Наряду с ними надежное возобновление на раздувах обоих типов встречается вблизи стен леса с подветренной стороны, на склонах с наветренной стороны возобновление древесных растений практически отсутствует.

На одном из раздувов встречен уникальный участок соснового молодняка с примесью березы, возникший на участке разбросанных хлыстов и бревен (рис. 11). Эти порубочные крупномерные остатки не вывезенной древесины были засыпаны песком, принесенным ветрами. На песках между бревнами стали закрепляться семена лесообразователей, укрывшихся между



Рис. 1. Это все, что осталось от когда-то сомкнутых сосняков Va класса бонитета.



Рис. 2. Рукотворные объекты освоителей углеводородов – раздувы или, вернее, пустыни Севера.



Рис. 3. На этом участке когда-то был перестойный продуктивный сосняк.



Рис. 4. Наступление пустыни на леса. В противостоянии ветрам и движению песка эти сосны не выжили.



Рис. 5. В противостоянии ветрам дерево сосны стало искореженным.



Рис. 6. Возобновление сосны активно только в нижних частях откосов валов с подветренной стороны.



Рис. 7. Возобновление лесной растительности в выветренных локальных понижениях вблизи стен леса.



Рис. 8. Оставленный на песке нарубленный древесный материал закрепил поселение сосны на песке.



Рис. 9. Возобновление леса в выветренных понижениях в теле эоловых песков.



Рис. 10. Раздув с уплотненной поверхностью песка, на котором прекратилась ветровая эрозия, но не усилилось возобновление леса.



Рис. 11. Возобновление лесной растительности на раздувах, сложенных обломками деревьев, засыпанных песком.



Рис. 12. На плоских участках карьеров возобновлению леса препятствует сильная ветровая эрозия.

бревен от ветра, обеспеченные достаточной влагой, поступающей от разлагающихся бревен и задерживающейся от дождей. Молодняк, состоящий из особей сосны с примесью березы группового размещения возрастом 5–15 лет, найдя благоприятные условия для существования совместно с травянистыми растениями, успешно развивается, образуя в будущем высокопродуктивные насаждения. На поверхности голого песка, перевиваемого ветром, примыкающей к этому участку, не встречено ни одной сосны, которые могли бы как-то закрепиться (рис. 12).

Это свидетельствует о том, что на данных широтах к природным факторам, препятствующим возобновлению леса, относится ветер, который на первом участке не являлся помехой. Таким образом, природа оказалась более «сообразительной», чем человек, найдя подход к решению главной проблемы на Севере – это создание лесов на перевиваемых песчаных поверхностях.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Песок, закрепившийся в пустотах порубочных остатков, а также сами порубочные остатки способствуют удержанию влаги и защите от ветра, что создает благоприятную среду для снижения ветровой эрозии, возобновления древесных растений и последующего их роста и развития. Подобные преобразования природной среды обеспечивают возникновение и развитие лесообразовательного процесса на раздувах, что указывает на возможность использования этого явления в решении задач закрепления песков и создания лесов на раздувах. Для этого на поверхности песчаных отложений поперек главного направления движения ветров через 10–20 м рекомендуется прокладывать мелиоративной техникой канавы с укладкой в них крупных порубочных остатков, засыпая их песком с образованием песчаного вала, и по их границе с подветренной стороны проводить посадку саженцев сосны или оставить под естественное возобнов-

ление. Предлагаемые рекомендации желательно было бы осуществить в виде опытно-экспериментальных работ, что позволило бы убедиться в правомерности этого методического подхода, а также каких-либо других подходов к лесной рекультивации раздувов.

Завершая рассмотрение северного феномена «раздувов», следует заключить, что в северных широтах Западной Сибири, в подзонах северной тайги и лесотундры, к основным препятствующим факторам лесообразования на разрушенных землях любой природы относится ветер, вызывающий постоянную непрекращающуюся эрозию песчаных отложений, слагающих суходольные местообитания лесов, разрушенные техникой. В связи с этим одной из самых актуальных проблем рекультивации нарушенных земель Севера Западной Сибири является решение задач, направленных на использование ветра как природного фактора, содействующего возникновению и развитию лесообразовательного процесса на раздувах, типа того, как он осуществляется на участке с разбросанными крупными порубочными остатками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонов-Дружинин В. П. Антропогенная трансформация геосистем южной лесотундры // Применение современных методов исследования в географии: Тез. докл. 10-й конф. молодых географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: Ин-т геогр. СО АН СССР, 1987. С. 4–6.
- Седых В. Н. Леса Западной Сибири и нефтегазовый комплекс. М.: Экология, 1997. 36 с.
- Седых В. Н. Раздувы – пустыни Севера // XII Междунар. науч. конгресс и выставка «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016». Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». Сб. материалов в 3-х т. Новосибирск, 18–22 апр., 2016 г. Новосибирск: Сиб. гос. ун-т геосистем и технол., 2016. Т. 3. № 3. С. 110–115.
- Шилова И. И., Терехова Э. Б., Лукьянец А. И. Техногенные пески и их рекультивация // Растения и промышленная среда: сб. науч. тр. Свердловск: Урал. гос. ун-т, 1980. С. 131–145.

RENEWAL OF THE FOREST IN BLOWN SANDS

V. N. Sedykh

*West-Siberian Division of V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences,
Siberian Branch – Branch of the Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Zhukovskiy str., 100/1, Novosibirsk, 630082 Russian Federation*

E-mail: tayga-eko@yandex.ru

The article for the first time deals with the issues of natural regeneration of the forest in blown sands – a kind of deserts of the northern taiga and forest-tundra of Western Siberia, which arose on the site of automorphic pine stands, destroyed by natural and technogenic impacts. During the reconnaissance survey of several blows, it was found, that the main factor hindering the natural regeneration of forests in these peculiar deserts of the North is the wind. In this regard, forest formation on them is carried out only in areas adjacent to the leeward side of the forest walls and in low places, as well as in voids between large-sized logging residues covered with sand.

Keywords: *deserts of northern taiga, wind erosion, forest formation process, Western Siberia.*

How to cite: *Sedykh V. N. Renewal of the forest in blown sands // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 87–92 (in Russian with English abstract and references).*

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2022 г.)

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

	№	С.
<i>Л. В. Афанасьева, О. В. Калугина, М. В. Оскорбина, Т. М. Харпухаева</i> Особенности элементного состава и пигментного комплекса хвои лиственницы сибирской при воздействии выбросов Иркутского алюминиевого завода	1	20
<i>А. Н. Борисов, В. В. Иванов</i> Имитационное моделирование роста сосновых древостоев	3	40
<i>С. В. Горбунова, А. О. Сеньков, Д. Х. Файзулин</i> Опыт применения гуминового препарата при выращивании сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой в условиях Архангельской области	1	41
<i>Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, Т. В. Нуреева</i> Опыт создания смешанных лесных культур в Марийском Заволжье	2	41
<i>И. Н. Егорова, Г. С. Тутикова, О. В. Шергина</i> Почвенные водоросли лесных насаждений г. Усолъе-Сибирское и его окрестностей (Иркутская область)	6	66
<i>М. Г. Ерунова, А. А. Кнорре</i> Ретроспективный анализ лесных пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы»	5	22
<i>С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова</i> Фитоценотическая и таксационная индикация болотных сосняков междуречья Оби и Томи	5	3
<i>Т. Т. Ефремова, О. А. Шапченкова, С. П. Ефремов, А. Ф. Аврова, М. В. Седельников</i> Эколого-геохимическая оценка торфяных почв болотных ельников Кузнецкого Алатау	4	14
<i>Д. Г. Замолодчиков, А. В. Иванов, В. И. Грабовский, Н. А. Юст, Н. А. Тимченко</i> Средообразующие функции защитных лесов Амурской области	6	12
<i>А. В. Кабонен, О. И. Гаврилова, А. В. Грязькин, К. А. Пак</i> Оценка естественного возобновления леса на гари с использованием данных, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата	2	11
<i>Л. В. Карпенко, А. В. Гренадерова, А. Б. Михайлова, О. В. Подобуева</i> Реконструкция локальных пожаров в голоцене по данным содержания макрочастиц угля в торфяной залежи в долине реки Дубчес	4	3
<i>М. А. Кириенко, И. А. Гончарова</i> Инвентаризация арборифлоры Центрального парка города Красноярска	5	46
<i>А. П. Ковалев, Т. Г. Качанова</i> Лесоводственная оценка технологий заготовки древесины в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока	6	3
<i>О. Е. Крючкова</i> Макромицеты березовых лесов города Красноярска в условиях рекреационной нагрузки	5	34
<i>Н. П. Кузьмина, С. В. Ермолаева, А. П. Чевычелов</i> Микробоценозы мерзлотных лесных почв Центральной Якутии	6	22
<i>А. В. Лебедев, В. В. Кузьмичев</i> Построение бонитетной шкалы с использованием обобщенного алгебраического разностного подхода	3	48
<i>С. С. Макаров, И. Б. Кузнецова, С. А. Родин, С. Ю. Цареградская, А. И. Белан</i> Адаптация клюквы болотной к нестерильным условиям с добавлением экопрепаратов и гормонов	1	52

<i>М. А. Мартынова, А. И. Лобанов</i> Опыт размножения и динамика развития вегетативного возобновления <i>Phlox sibirica</i> L. в культуре на юге Средней Сибири	4	50
<i>А. А. Онучин, А. Е. Петренко, Д. С. Собачкин, Р. С. Собачкин</i> Реакция сосновых молодняков Красноярской лесостепи на изреживание и внесение азотных удобрений	3	6
<i>А. А. Онучин, Д. С. Собачкин, Р. С. Собачкин, А. Е. Петренко, В. В. Иванов</i> Реакция средневозрастных сосняков Красноярской лесостепи на внесение азотных удобрений и изреживание	3	15
<i>Е. А. Петрунина, С. Р. Лоскутов, Т. В. Рязанова, А. А. Анискина, Г. В. Пермьякова, В. В. Стасова</i> Сравнительный анализ физико-химических свойств коры лиственницы и сосны: термический анализ и аналитический пиролиз	4	35
<i>О. А. Притужалова, М. В. Горшкова</i> Сравнительный анализ требований российского лесного законодательства и лесной сертификации FSC	1	3
<i>С. Г. Прокушкин, А. Е. Петренко, О. А. Зырянова, А. С. Прокушкин</i> Запасы фитодетрита и его биогенных элементов в лиственничниках малого водосборного бассейна Центральной Эвенкии	6	34
<i>Л. С. Пишеничникова, А. А. Онучин, Р. С. Собачкин, А. Е. Петренко</i> Особенности роста сосновых культур разной густоты в условиях южной тайги Сибири	3	24
<i>С. М. Синькевич</i> Лесоводственная эффективность чересполосно-постепенной рубки в сосняке среднетаежной подзоны Карелии	2	21
<i>Р. С. Собачкин, Д. С. Собачкин, А. Е. Петренко</i> Особенности роста и продуктивности сосновых молодняков, сформированных из деревьев различного ценотического статуса	3	34
<i>В. В. Стасова, Л. Н. Скрипальщикова, Н. В. Астраханцева, А. П. Барченков</i> Морфолого-анатомические характеристики и пигментный состав хвон сосны обыкновенной в зеленых насаждениях г. Красноярска	2	3
<i>В. Г. Стороженко</i> Структуры древесных фракций и объемы компонентов древесины еловых биогеоценозов тайги Европейской России	2	29
<i>В. А. Усольцев, И. С. Цепордей</i> Географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии	3	59
<i>В. А. Усольцев, И. С. Цепордей</i> Модели и таблицы фитомассы отмерших ветвей у растущих деревьев сосны обыкновенной и березы повислой в степной зоне	6	58
<i>С. К. Фарбер, Н. С. Кузьмик, Е. В. Горяева</i> Экологическая значимость лесов курортной зоны озера Учум: оценка ущерба от пожара	4	26
<i>Т. М. Харпухаева, Л. В. Афанасьева, О. В. Калугина, М. В. Оскорбина</i> Видовой состав и структура растительности светлохвойных лесов Иркутской области в условиях загрязнения выбросами алюминиевых заводов	6	45
<i>И. А. Целитан, И. М. Данилин</i> Определение стоимости зеленых насаждений Бейского района Республики Хакасия	6	78
<i>С. А. Шавнин, Д. Ю. Голиков, А. А. Монтиле, А. В. Капралов, А. В. Григорьева</i> Взаимосвязи морфологических характеристик корней и косослоя заболони ствола у деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в условиях верхового болота	1	33
<i>О. А. Shapchenkova, S. R. Loskutov, M. A. Plyashechnik, Z. Pásztor</i> Thermal analysis and pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry of fossil wood from of Bükkábrány, Hungary	5	56

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ

<i>О. А. Зырянова</i> Scientific Heritage of Professor Akira Osawa	1	61
<i>О. А. Зырянова, Е. Н. Муратова, А. И. Бондарев</i> А. П. Абаймов и его научное наследие (к 75-летию со дня рождения, 18.08.1947–14.07.2006)	5	70

МНЕНИЕ УЧЕНОГО

<i>В. Н. Седых</i> Возобновление леса на раздувах	6	87
--	---	----

ИЗ ДРУГИХ РАЗДЕЛОВ

<i>А. А. Онучин</i> Предисловие научного редактора тематического номера «Сибирского лесного журнала»	3	3
---	---	---

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

<i>Е. Г. Николин</i> Высотный предел распространения лиственницы Каяндера в отрогах Чуванского хребта (бассейн реки Озерное Горло, Чукотка)	4	57
---	---	----

ЮБИЛЕЙ

<i>С. Г. Глушко, Н. Б. Прохоренко, Н. В. Терёхина</i> Татьяна Александровна Комарова (к 80-летию со дня рождения)	5*	
<i>О. А. Иванов, В. В. Копытков, Ч. Дугаржав</i> Анатолий Иванович Лобанов (к 70-летию со дня рождения и 50-летию научной деятельности)	6*	
<i>Е. П. Кашкаров</i> В центре Сибирского антициклона (к 70-летию со дня рождения Олега Александровича Поморцева)	1*	

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

<i>С. П. Ефремов</i> Штрихи воспоминаний о сибирском ученом в области общего и мерзлотного лесоведения А. П. Абаймове (в орнаменте ландшафтов Таймыра и некоторых событий)	5*	
Иван Семенович Косенко (03.12.1940–10.04.2022)	2*	

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2022)	6	93
---	---	----

ЭКСПЕРТЫ И РЕЦЕНЗЕНТЫ (2022)*

* Статья публикуется в сетевом издании.

AUTORS' AND ARTIKLES' INDEX (2022)

RESEARCH ARTICLES

	N.	P.
<i>L. V. Afanas'eva, O. V. Kalugina, M. V. Oskorbina, T. M. Kharpukhaeva</i> Features of Elemental Composition and Pigment Complex of the Siberian Larch Needles Under Impact of Irkutsk Aluminum Smelter Emissions	1	20
<i>A. N. Borisov, V. V. Ivanov</i> Simulation Modeling of the Growth of Pine Stands	3	40
<i>Yu. P. Demakov, A. V. Isaev, T. V. Nureeva</i> An Experience in Creating Mixed Forest Crops in Mari Zavolzh'e	2	41
<i>S. P. Efremov, T. T. Efremova, A. V. Pimenov, T. S. Sedel'nikova</i> Phytocenotic and Inventory Indication of Bog Pine Forests in the Ob'-Tom' Interfluve	5	3
<i>T. T. Efremova, O. A. Shapchenkova, S. P. Efremov, A. F. Avrova, M. V. Sedel'nikov</i> Ecological-Geochemical Assessment of Swamp Spruce Forests Peat Soils of Kuznetsk Alatau	4	14
<i>I. N. Egorova, G. S. Tupikova, O. V. Shergina</i> Soil Algae of Forest Stands of the Town of Usol'e-Sibirskoe and Its Surrounding Territories (Irkutsk Oblast)	6	66
<i>M. G. Erunova, A. A. Knorre</i> The Wild Fire Retrospective Analysis in the National Park «Krasnoyarsk Stolby»	5	22
<i>S. K. Farber, N. S. Kuz'mik, E. V. Goryaeva</i> Environmental Value of Forests of the Uchum Lake Resort Zone: Fire Damage Assessment	4	26
<i>S. V. Gorbunova, A. O. Sen'kov, D. H. Fayzulin</i> The Experience of Using a Humic Preparation for Growing Coniferous Ball-Rooted Seedlings in the Conditions of Arkhangelsk Oblast	1	41
<i>A. V. Kabonen, O. I. Gavrilova, A. V. Gryazkin, K. A. Pak</i> Assessment of Natural Forest Regeneration After Fire Using Data Obtained with Unmanned Aerial Vehicle	2	11
<i>L. V. Karpenko, A. V. Grenaderova, A. B. Mikhailova, O. V. Podobueva</i> Reconstruction of Holocene Local Fires According to the Macrocharcoals Content from the Peat Deposits in the Dubches River Valley	4	3
<i>T. M. Kharpukhaeva, L. V. Afanas'eva, O. V. Kalugina, M. V. Oskorbina</i> Species Composition and Vegetation Structure of Light Coniferous Forests under Pollution of Aluminum Smelter Emissions in Irkutsk Oblast	6	45
<i>M. A. Kirienko, I. A. Goncharova</i> Inventory of Arboriflora at Krasnoyarsk Central Park	5	46
<i>A. P. Kovalev, T. T. Kochanova</i> Silvicultural Assessment of Wood Harvesting Technologies in Coniferous-Broad-Leaved Forests of the Far East	6	3
<i>O. E. Kryuchkova</i> Macromycetes of Birch Forests of Krasnoyarsk City under Recreational Load	5	34
<i>N. P. Kuz'mina, S. V. Ermolaeva, A. P. Chevychelov</i> Microbocenoses of Permafrost Forest Soils in Central Yakutia	6	22
<i>A. V. Lebedev, V. V. Kuzmichev</i> Stand Site Index Scale Development Using the Generalized Algebraic Difference Approach	3	48

<i>S. S. Makarov, I. B. Kuznetsova, S. A. Rodin, S. Yu. Tsaregradskaya, A. I. Belan</i> Adaptation of European Cranberry to Non-Sterile Conditions with the Addition of Organic Products and Hormones	1	52
<i>M. A. Martynova, A. I. Lobanov</i> Experience of Reproduction and Development Dynamics of Vegetative Renewal of <i>Phlox sibirica</i> L. in Crops in the South of Central Siberia	4	50
<i>A. A. Onuchin, A. E. Petrenko, D. S. Sobachkin, R. S. Sobachkin</i> Reaction of Young Pine Stands in Krasnoyarsk Forest-Steppe to Thinning and Application of Nitrogen Fertilizers	3	6
<i>A. A. Onuchin, D. S. Sobachkin, R. S. Sobachkin, A. E. Petrenko, V. V. Ivanov</i> Reaction of Middle-Aged Pine Stands in Krasnoyarsk Forest-Steppe to Nitrogen Fertilizers and Thinning	3	15
<i>E. A. Petrulina, S. R. Loskutov, T. V. Ryazanova, A. A. Aniskina, G. V. Permyakova, V. V. Stasova</i> Comparative Analysis of Physical-Chemical Properties of Larch and Pine Bark: Thermal Analysis and Analytical Pyrolysis	4	35
<i>O. A. Prituzhalova, M. V. Gorshkova</i> Comparative Analysis of the Requirements of the Russian Forest Legislation and FSC Forest Certification	1	3
<i>S. G. Prokushkin, A. E. Petrenko, O. A. Zyryanova, A. S. Prokushkin</i> Stocks of Phytodetrite and Its Biogenic Elements in Larch Forests in Small Watershead Basin of Central Evenkia	6	34
<i>L. S. Pshenichnikova, A. A. Onuchin, R. S. Sobachkin, A. E. Petrenko</i> The Growth Specifics of Pine Crops of Various Density in the Siberian Southern Taiga	3	24
<i>O. A. Shapchenkova, S. R. Loskutov, M. A. Plyashechnik, Z. Pásztor</i> Thermal Analysis and Pyrolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry of Fossil Wood from of Bükkábrány, Hungary	5	56
<i>S. A. Shavnin, D. Yu. Golikov, A. A. Montile, A. V. Kapralov, A. V. Grigor'eva</i> Relationships Between Morphological Characteristics of Roots and Stem Sapwood Twisted Layer of Scots Pine Trees, Growing in the Upper Bog	1	33
<i>S. M. Sinkevich</i> Silvicultural Efficiency of Strip-Shelterwood Felling in Pine Stand of Mid-Taiga Subzone of Karelia	2	21
<i>R. S. Sobachkin, D. S. Sobachkin, A. E. Petrenko</i> The Specifics of Growth and Productivity of Young Pine Stands, Formed of the Trees of the Different Cenotic Position	3	34
<i>V. V. Stasova, L. N. Skripal'shchikova, N. V. Astrakhantseva, A. P. Barchenkov</i> Morphological and Anatomical Characteristics and Pigment Composition of Scotch Pine Needles in Green Stands of Krasnoyarsk City	2	3
<i>V. G. Storozhenko</i> Structures of Wood Fractions and Volumes of Wood Components in Spruce Biogeocenoses of the Taiga of European Russia	2	29
<i>I. A. Tselitan, I. M. Danilin</i> Valuation of the Cost of Green Stands in Beysky District, Republic of Khakassia	6	78
<i>V. A. Usoltsev, I. S. Tsepordey</i> Geographical Patterns of Changes in the Basic Density of Wood and Bark of Forest-Forming Species of Eurasia	3	59
<i>V. A. Usoltsev, I. S. Tsepordey</i> Models and Tables of the Phytomass of Dead Branches in Growing Trees of Scots Pine and Silver Birch in the Steppe Zone	6	58
<i>D. G. Zamolodchikov, A. V. Ivanov, V. I. Grabovskiy, N. A. Yust, N. A. Timchenko</i> Environmental Functions of Protective Forests in Amur Oblast	6	12

SCIENTIFIC HERITAGE

<i>O. A. Zyryanova</i> Scientific Heritage of Professor Akira Osawa	1	61
<i>O. A. Zyryanova, E. N. Muratova, A. I. Bondarev</i> A. P. Abaimov and his Scientific Heritage (Celebrating 75th Birthday, 18.08.1947–14.07.2006).....	5	70

SCIENTIST'S OPINION

<i>V. N. Sedykh</i> Renewal of the Forest in Blown Sands	6	87
---	---	----

ARTIKLES FROM ORHES PARTS

<i>A. A. Onuchin</i> Foreword From the Scientific Editor for Thematic Issue of the Siberian Journal of Forest Science	3	3
--	---	---

SHORT COMMUNICATION

<i>E. G. Nikolin</i> The Altitude Limit of the Kayander Larch (<i>Larix cajanderi</i> Mayr) Distribution in the Spurs of the Chuvanskiy Ridge (Basin of River Ozernoe Gorlo, Chukotka)	4	57
---	---	----

JUBILEE

<i>S. G. Glushko, N. B. Prokhorenko, N. V. Terekhina</i> Tat'yana Alexandrovna Komarova (Celebrating 80th Birthday)	5*	
<i>O. A. Ivanov, V. V. Kopytkov, Ch. Dugarzhav</i> Anatoly Ivanovich Lobanov (Celebrating 70 th Birthday and 50 th Anniversary of Scientific Activity)	6*	
<i>E. P. Kashkarov</i> In the Center of Siberian Anticyclone (Celebrating 70 th Birthday of Oleg Alexandrovich Pomortsev)	1*	

IN MEMORIAM

<i>S. P. Efremov</i> Strokes of Memory of the Siberian Scientist in the field of General and Permafrost Forest Science A. P. Abaimov (in the Ornament of the Landscapes of Taimyr and Some Events)	2*	
Ivan Semenovich Kosenko (03.12.1940–10.04.2022)	2*	

AUTHORS' AND ARTICLES' INDEX (2022)	6	93
--	---	----

EXPERTS AND REVIEWERS (2022)*

* Article is published in online edition.

CONTENTS

RESEARCH ARTICLES

<i>A. P. Kovalev, T. G. Kachanova</i> Silvicultural Assessment of Wood Harvesting Technologies in Coniferous-Broad-Leaved Forests of the Far East	3
<i>D. G. Zamolodchikov, A. V. Ivanov, V. I. Grabovskiy, N. A. Yust, N. A. Timchenko</i> Environmental Functions of Protective Forests in Amur Oblast	12
<i>N. P. Kuz'mina, S. V. Ermolaeva, A. P. Chevychelov</i> Microbocenoses of Permafrost Forest Soils in Central Yakutia	22
<i>S. G. Prokushkin, A. E. Petrenko, O. A. Zyryanova, A. S. Prokushkin</i> Stocks of Phytodetrit and Its Biogenic Elements in Larch Forests in Small Watershead Basin of Central Evenkia	34
<i>T. M. Kharpukhaeva, L. V. Afanas'eva, O. V. Kalugina, M. V. Oskorbina</i> Species Composition and Vegetation Structure of Light Coniferous Forests under Pollution of Aluminum Smelter Emissions in Irkutsk Oblast	45
<i>V. A. Usoltsev, I. S. Tsepordey</i> Models and Tables of the Phytomass of Dead Branches in Growing Trees of Scots Pine and Silver Birch in the Steppe Zone	58
<i>I. N. Egorova, G. S. Tupikova, O. V. Shergina</i> Soil Algae of Forest Stands of the Town of Usol'e-Sibirskoe and Its Surrounding Territories (Irkutsk Oblast)	66
<i>I. A. Tselitan, I. M. Danilin</i> Valuation of the Cost of Green Stands in Beysky District, Republic of Khakassia	78

SCIENTIST'S OPINION

<i>V. N. Sedykh</i> Renewal of the Forest in Blown Sands	87
---	----

* JUBILEE

<i>* O. A. Ivanov, V. V. Kopytkov, Ch. Dugarzhav</i> Anatoly Ivanovich Lobanov (Celebrating 70th Birthday and 50th Anniversary of Scientific Activity)	
---	--

AUTHORS' AND ARTICLES' INDEX (2022)	93
--	----

* EXPERTS AND REVIEWERS (2022)

* Article is published in online edition.

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

<i>А. П. Ковалев, Т. Г. Качанова</i> Лесоводственная оценка технологий заготовки древесины в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока	3
<i>Д. Г. Замолодчиков, А. В. Иванов, В. И. Грабовский, Н. А. Юст, Н. А. Тимченко</i> Средообразующие функции защитных лесов Амурской области	12
<i>Н. П. Кузьмина, С. В. Ермолаева, А. П. Чевычелов</i> Микробоценозы мерзлотных лесных почв Центральной Якутии	22
<i>С. Г. Прокушкин, А. Е. Петренко, О. А. Зырянова, А. С. Прокушкин</i> Запасы фитодетрита и его биогенных элементов в листовничниках малого водосборного бассейна Центральной Эвенкии	34
<i>Т. М. Харпухаева, Л. В. Афанасьева, О. В. Калугина, М. В. Оскорбина</i> Видовой состав и структура растительности светлехвойных лесов Иркутской области в условиях загрязнения выбросами алюминиевых заводов	45
<i>В. А. Усольцев, И. С. Цепордей</i> Модели и таблицы фитомассы отмерших ветвей у растущих деревьев сосны обыкновенной и березы повислой в степной зоне	58
<i>И. Н. Егорова, Г. С. Тутикова, О. В. Шергина</i> Почвенные водоросли лесных насаждений г. Усолье-Сибирское и его окрестностей (Иркутская область)	66
<i>И. А. Целитан, И. М. Данилин</i> Определение стоимости зеленых насаждений Бейского района Республики Хакасия	78

МНЕНИЕ УЧЕНОГО

<i>В. Н. Седых</i> Возобновление леса на раздувах	87
--	----

* ЮБИЛЕЙ

<i>* О. А. Иванов, В. В. Копытков, Ч. Дугаржав</i> Анатолий Иванович Лобанов (к 70-летию со дня рождения и 50-летию научной деятельности)	
--	--

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2022)	93
---	----

* ЭКСПЕРТЫ И РЕЦЕНЗЕНТЫ (2022)

* Статья публикуется в сетевом издании.