

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

ISSN 2311-1410

Сибирский лесной журнал

Номер 1
Январь–Февраль 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 1 January–February 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. Aref'ev (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. Chimitdorzhiev (RF), Chimidnyam Dorjsuren (Mongolia), Chultem Dugarjav (Mongolia), Alexey A. Dymov (RF), Steve Eubanks (USA), Sergey N. Goroshkevich (RF), Irina D. Grodnitskaya (RF), Andrei N. Gromtsev (RF), Georg Guggenberger (Germany), Alexander P. Isaev (RF), Galina A. Ivanova (RF), Olga V. Kalugina (RF), Vyacheslav I. Kharuk (RF), Alexander V. Kirdyanov (RF), Natal'ya I. Kirichenko (RF), Grigoriy B. Kofman (RF), Ivan S. Kosenko (Ukraine), 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 Schmutliuss (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. Usoltsev (RF), Eugene A. Vaganov (RF), Viktor I. Voronin (RF), Chuankuan Wang (China), Adam X. Wei (Canada), Vasily T. Yarmishko (RF)

Leading Editor

Tatyana A. Nikitina

Scientific Editor

Kseniya A. Kryukova

Technical Editor

Tatyana R. Pantyukhina

Address for journal office:

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

Novosibirsk

Siberian Branch of the Russian Academy of Science

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

СИБИРСКИЙ ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

№ 1 2022 Январь – Февраль

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. Бенькова (РФ), К. С. Бобкова (РФ), Е. А. Ваганов (РФ), Ч. Ван (Китай), А. Х. Вей (Канада), В. И. Воронин (РФ),
С. Н. Горошкевич (РФ), И. Д. Гродницкая (РФ), А. Н. Громцев (РФ), Г. Гуггенбергер (Германия),
И. М. Данилин (*зам. главного редактора*, РФ), Ч. Доржсүрэн (Монголия), Ч. Дугаржав (Монголия), А. А. Дымов (РФ),
Г. А. Иванова (РФ), А. П. Исаев (РФ), О. В. Калугина (РФ), А. В. Кирдянов (РФ), Н. И. Кириченко (РФ), А. П. Ковалев (РФ),
И. С. Косенко (Украина), 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), С. В. Осипов (РФ), Т. А. Никитина (*ведущий редактор*, РФ),
И. Н. Павлов (РФ), Х. Пелтола (Финляндия), А. В. Пименов (РФ), В. Пихлер (Словакия), А. С. Прокушкин (РФ),
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. Усень (Беларусь), В. А. Усольцев (РФ), В. И. Харук (РФ), Д. Чен (США),
Т. Н. Чимитдоржиев (РФ), О. А. Шапченкова (РФ), А. З. Швиденко (РФ, Австрия), О. В. Шергина (РФ), А. С. Шишкин (РФ),
С. Д. Шлотгауэр (РФ), К. Шмуллиус (Германия), Д. Г. 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: сибирскийлеснойжурнал.рф, 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, этноботаника
лесные культуры
физиология и биохимия лесных растений
биотехнология, древесиноведение, химическая переработка древесины и недревесных продуктов леса
дендрохронологические исследования
лесная гидрология
лесная пирология
лесные зоокомплексы
лесная фитоценология
лесное почвоведение
лесная микробиология
лесная фитопатология и защита леса
лесомелиорация и лесная рекультивация
лесная политика, экономика, управление лесами, лесное законодательство
дистанционные и геоинформационные методы в оценке биосферных функций леса

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

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

«Сибирский лесной журнал» включен в российскую систему научного цитирования eLibrary.ru (РИНЦ), международные реферативные базы данных: Ulrichsweb: Global Serials Directory (США), 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: sibjforjournal.pfn.ru, sibjforsci.com.

«Сибирский лесной журнал» предполагает следующие разделы: «Обзорные статьи», «Исследовательские статьи», «Краткие сообщения», «Рецензии», «Хроника», «Научное наследие», «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 17.01.2022. Выход в свет 28.02.2022. Бумага типографская. Формат 60 × 84 1/8

Усл. печ. л. 8.6. Уч.-изд. л. 7.7. Тираж 100 экз. Заказ № 124. 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 502.14:630

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ РОССИЙСКОГО ЛЕСНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА И ЛЕСНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ FSC

О. А. Притужалова¹, М. В. Горшкова²

¹ Тюменский государственный университет
625003, Тюмень, ул. Володарского, 6

² ООО «Свежа-Лес», филиал ООО «Тюменский фанерный завод»
625034, Тюмень, ул. Камчатская, 196

E-mail: spook191@yandex.ru, mariagorshkova72@gmail.com

Поступила в редакцию 20.07.2021 г.

В настоящее время в России достаточно широко применяются признанные на международном уровне схемы добровольной лесной сертификации: по этим стандартам в стране сертифицировано более трети всех лесов, отданных в аренду лесозаготовителям. В то же время в Государственной Думе Российской Федерации звучат предложения о необходимости разработки отечественной системы лесной сертификации для защиты национальных интересов. Цель данной статьи – выявить общности и различия в требованиях российского лесного законодательства и международных стандартов сертификации лесов на примере национального стандарта лесопользования FSC (Лесного попечительского совета) для Российской Федерации. Это позволит выяснить, на какой базе целесообразно формировать свод правил национальной российской системы лесной сертификации. В результате проведенного исследования выявлено, что на концептуальном уровне российские нормативно-правовые акты в лесопользовании и смежных областях большей частью совпадают с лесной сертификацией FSC и могут лечь в основу национальной системы сертификации лесов РФ. Обе системы направлены на охрану лесов от загрязнения и использование всех видов лесных ресурсов, но требования FSC строже в плане организации работ – в соответствии с ними лесопользователи должны разработать руководства, содержащие экологические нормы лесозаготовок, и инструктировать работников по ним. Более строгими также требования FSC в области борьбы с вредителями леса (упор на использование преимущественно нехимических методов борьбы), охраны биоразнообразия и лесов высокой природоохранной ценности, включая малонарушенные лесные территории (МЛТ). Схема FSC максимально расходится с российским лесным законодательством именно в части сбережения МЛТ. Ею установлены количественные пороговые значения для территорий, в которых не допускаются рубки леса. По социальным аспектам обе системы уделяют большое внимание правам работников и условиям труда, особенно FSC в отношении учета интересов местного населения и, в частности, коренных народов. При формировании российской системы лесной сертификации целесообразно заложить механизмы учета ценности экосистемных услуг лесных территорий.

Ключевые слова: охрана леса, лесное законодательство, национальный стандарт лесопользования FSC для Российской Федерации.

DOI: 10.15372/SJFS20220101

ВВЕДЕНИЕ

На волне роста интереса государства, деловых кругов и общества к идеям устойчивого развития претерпевают изменения подходы к управлению всеми сферами хозяйственной и иной деятельности. Лесопользование – не исключение. Устойчивое лесопользование и устойчивое управление лесами (Sustainable Forest Management) (Jeakins et al., 2006; Fraser, 2019; Kumar et al., 2021) отвечают целям щадящего, неистощительного использования лесных ресурсов с сохранением средообразующих и других экологических функций леса (экологическое измерение), более полного использования ресурсов леса (экологическое и экономическое измерения), стабильной доходности лесозаготовительной отрасли и ее высокого вклада в бюджет государства (экономическое и социальное измерения), а также сохранения рабочих мест (социальное измерение).

В России принципы устойчивого лесопользования отражены во многих нормативных актах и документах стратегического развития. Так, устойчивое управление лесами, сохранение биологического разнообразия лесов, повышение их потенциала значатся в качестве принципа № 1 в главном нормативном правовом акте в области лесного права Российской Федерации – Лесном кодексе (ст. 1), а целью освоения лесов заявлено обеспечение их многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощительного использования, а также развития лесного комплекса (ст. 12) (Лесной кодекс, 2006).

Из числа ключевых документов также стоит назвать «Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в РФ на период до 2030 г.» (Основы..., 2013). Данный документ направлен на соблюдение баланса экономических, экологических и социальных интересов, сохранение генетического, видового, экосистемного и ландшафтного разнообразия лесов, исключение экстенсивной модели лесопользования, ориентированной на постоянное вовлечение в рубку новых лесных массивов, общественное участие при планировании и проведении мероприятий в лесах. В том же русле сформирована «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» (Стратегия развития..., 2021).

Устойчивое лесопользование базируется на эксплуатации возобновляемого ресурса и может стать форпостом зеленой экономики Рос-

сии, имеющей для этого самые крупные в мире массивы лесов, мощные лесозаготовительные предприятия, базирующиеся в разных частях страны, хорошо оснащенные технически. В то же время в лесном комплексе Российской Федерации накоплены проблемы, прежде всего недостаток лесных ресурсов в староосвоенных регионах и инфраструктурные ограничения (слабо развитая сеть лесовозных дорог и пр.). Для их преодоления перед отраслью стоит задача более грамотного лесовыращивания и формирования высокобонитетных экономически ценных древостоев путем рубок ухода за молодыми насаждениями, увеличения объемов лесовосстановления и лесоразведения.

Особую важность устойчивое лесопользование имеет в свете реализации Парижского соглашения о климате. Поскольку депонирование углерода лесами способствует смягчению климатических изменений, государство заинтересовано в сокращении выбытия лесов в результате воздействия лесных пожаров, сплошных рубок и неэффективного лесопользования. Так, согласно принятой в октябре 2021 г. «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», целевой сценарий предусматривает увеличение поглощающей способности управляемых экосистем более чем в 2 раза, в том числе за счет совершенствования практик управления в лесном хозяйстве, увеличения площади управляемых лесов, более активных лесовосстановления и лесоразведения, охраны лесов от пожаров и защиты от вредных организмов (Стратегия социально-экономического..., 2021).

В то же время экспертное сообщество сходится во мнении, что управление лесами в России не соответствует принципам и критериям устойчивого развития и требуется создание условий и путей перехода к его интенсификации (Моисеев, 2014; Швиденко и др., 2017).

Одним из механизмов поддержки устойчивого управления лесами является добровольная лесная сертификация (Teketay, Barklund, 2004; Maesano et al., 2018; Nigatu, 2019), т. е. процедура освидетельствования качества лесопользования и/или лесной продукции критериям определенного стандарта, как правило, отражающим целевые установки устойчивого лесопользования.

Сегодня в мире наиболее популярны две схемы лесной сертификации: FSC (Forest Stewardship council, Лесной попечительский совет) и PEFC (Program for the Endorsement of Forest Certification schemes, Программа подтверждения

схем лесной сертификации). Предметом лесной сертификации могут быть управление лесами, цепочки поставки лесной продукции и сама древесина. Правила лесной сертификации нацелены на обеспечение возможности экономически прибыльного непрерывного и неистощительного в долгосрочной перспективе использования лесов при соблюдении высоких стандартов в области трудовых отношений и социальных гарантий для местного населения, включая коренные народности, тем самым они перекликаются с идеями устойчивого развития.

Лесная сертификация способствует переходу от экстенсивной модели лесопользования (вырубка лесов на новых территориях) к модели интенсивного освоения лесов. Это будет давать как экологический эффект (за счет сохранения массивов девственных или малонарушенных лесов), так и экономический (экономия затрат на развитие инфраструктуры на вновь осваиваемых территориях).

Схемы международной лесной сертификации охватывают значительную часть эксплуатируемых российских лесов (61.48 млн га леса в РФ сертифицированы по международным системам (FSC Russia, 2021)), однако ее перспективы оцениваются положительно не всеми заинтересованными сторонами. Так, на заседании круглого стола Комитета по природным ресурсам, собственности и земельным отношениям на тему «О добровольной сертификации в лесной отрасли: основные цели и принципы» (14.11.2018 г.) было отмечено, что «стране необходима отечественная система сертификации, которая должна полностью соответствовать всем международным природоохранным нормам и принципам и которая будет признаваться на международном уровне». В качестве одного из ключевых аргументов в пользу ее создания выступают следующие соображения:

«Несмотря на то что предоставляемая этими компаниями (*наиболее влиятельными органами лесной сертификации* – *Примеч. авт.*) услуга по сертификации по международным стандартам является добровольной, тем не менее, она служит фактическим пропуском на международный рынок, и отечественные организации вынуждены получать именно эти сертификаты и подчиняться требованиям зарубежных организаций. При этом требования зачастую накладывают необоснованные ограничения на деятельность предприятий лесной отрасли. Одним из таких примеров является вывод части площадей из хозяйственного освоения» (Комитет..., 2018).

С одной стороны, понятны опасения лесопромышленников и государства (как получателя налогов от экспорта лесной продукции) из-за возможного отзыва сертификатов FSC у российских компаний: если произойдет массовый отзыв сертификатов, это серьезнейшим образом подорвет экспортный потенциал российской лесной промышленности. Также настороженность вызывает факт полной осведомленности FSC о состоянии дел, экономических взаимосвязях в лесной отрасли (этим обусловлен интерес к созданию российской системы лесной сертификации со стороны лесопромышленников).

С другой стороны, на взгляд авторов, можно найти и контраргументы для разработки собственной системы лесной сертификации в России. Во-первых, основным заказчиком лесной сертификации в России являются предприятия, продающие лесную продукцию за рубеж, а именно в страны, в которых рынок как корпоративных, так и индивидуальных (частных) потребителей «экологически окрашен». Увы, уровень доверия этих экологически ответственных рынков к российской продукции низок. Где гарантия, что российская схема лесной сертификации в условиях непростой геополитической ситуации будет признана международным сообществом в качестве прозрачной и надежной? А во-вторых, задача создания эффективной национальной системы лесной сертификации очень сложна и, как показывает опыт, национальные системы мало жизнеспособны.

Если рассматривать вариант внедрения российскими лесопользователями отечественной системы лесной сертификации параллельно с сертификацией по стандартам FSC, отметим, что это теоретически возможно. Современная практика применения добровольных систем сертификации предполагает, что компании обеспечивают соответствие своей деятельности сразу по нескольким добровольным системам сертификации (например, предприятия пищевой промышленности могут внедрить одновременно стандарт менеджмента безопасности пищевой продукции ISO 22000, стандарт экологического менеджмента ISO 14001, стандарт управления охраной труда и промышленной безопасностью ISO 45001). Однако эти стандарты имеют различные сферы применения. Использование дублирующих систем сертификации представляется совершенно необоснованным, особенно если учесть высокий уровень затрат на поддержание соответствия стандартам сертификации. Отказ от сертификации по требованиям FSC и

использование российскими предприятиями исключительно отечественной системы лесной сертификации связан, во-первых, с трудностями перехода на новые стандарты, а во-вторых, с изложенными выше опасениями относительно признания российской системы лесной сертификации зарубежными потребителями продукции лесного комплекса России.

Тем не менее, раз перспективы создания отечественной системы лесной сертификации обсуждаются на уровне профильного комитета Госдумы, необходимо ответить на вопрос, может ли российская нормативная правовая база в сфере лесопользования сформировать фундамент национальной системы лесной сертификации в России, соответствующей устремлениям устойчивого развития? Цель настоящей статьи – выявить общности и различия в требованиях российского лесного законодательства и международных стандартов сертификации лесов на примере стандарта FSC. К задачам статьи не относится составление исчерпывающего перечня общности и различий и детальное сравнение российского законодательства и стандарта FSC по таким узким вопросам как, к примеру, методы расчета неистощительного объема лесопользования, категории лесов, нуждающихся в особой охране и защите, основания их выявления, а также сравнение применяемой терминологии. Фокус статьи заключается в оценке степени пригодности отечественной нормативной правовой базы как основы для разработки независимой от FSC системы лесной сертификации в России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторами проведено сравнение требований в области лесопользования согласно российским нормативным документам и принципам международной сертификации лесов по схеме FSC как наиболее востребованной в России.

В части российского законодательства по лесопользованию изучено собственно лесное законодательство и ряд других областей права, в которых содержатся требования к охране лесов и проведению деятельности на территории лесов.

В качестве базы для оценки лесной сертификации по схеме FSC взят ключевой документ системы сертификации FSC «Принципы и критерии FSC», содержащий 10 принципов и 70 критериев (FSC-STD-01-001 V5-2 EN, 2015). Кроме того, рассмотрен вступивший в силу 22.03.2021 г. «Национальный стандарт

лесоуправления FSC для Российской Федерации», обязательный при сертификации управления лесами на территории России (FSC-STD-RUS-02.1-2020 RU, 2020). Российский стандарт основан на FSC-STD-01-001 V5-2 EN (2015), а также на стандарте FSC-STD-60-004 V1-0 EN (2015) «Единые международные индикаторы», содержащем индикаторы, используемые для проверки соответствия единицы управления требованиям критериев. Отметим, что есть более актуальная редакция данного стандарта. В настоящей статье применяются формулировки требований согласно Национальному стандарту лесопользования FSC для Российской Федерации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенного исследования могут быть сделаны выводы по форме и содержанию требований в области лесопользования согласно принципам лесной сертификации FSC (см. рисунок) и российскому законодательству (см. таблицу). Преимущественная направленность принципов (социальные, экономические или экологические ценности) на рисунке маркирована авторами.

Области применения требований в таблице выделены авторами. Заметим, что перечень, включенных в нее нормативных актов, не исчерпывающий; фактически – это только «вершина айсберга», так как российское законодательство имеет сложную разветвленную структуру.

В первую очередь необходимо обратить внимание на императивный, общеобязательный характер требований российского законодательства в области лесопользования и добровольный, инициативный характер международных стандартов сертификации лесов по правилам FSC. Однако, если лесопользователем принято решение добиваться сертификации по стандарту FSC, требования FSC должны соблюдаться в полном объеме на всей единице управления в области действия сертификата, т. е. они приобретают обязательный характер для конкретной организации.

Нормы российского лесного права имеют универсальный характер, т. е. едины для всех лесопользователей, и рассчитаны на многократное применение. Аналогично универсальны требования FSC: принципы и критерии FSC едины для всех типов лесных экосистем, для всех стран мира (в единичных случаях некоторые критерии не применяются в том или ином государстве).



Принципы лесной сертификации по FSC-STD-RUS-02.1-2020 RU, 2020.

И те, и другие сформулированы достаточно обще; на практике лесопользователями для обеспечения соответствия деятельности требованиям российского законодательства и FSC могут приниматься различные меры. Например, утилизация порубочных остатков может осуществляться различными методами, главное – факт утилизации с соблюдением экологических, санитарных, противопожарных и иных обязательных к соблюдению требований.

Кроме очевидных различий, обусловленных обязательным характером российских законодательных требований и добровольным характером требований FSC, отметим следующие форменные различия. Требования, принятые в России, рассредоточены по большому количеству нормативных правовых актов как уровня законов и постановлений Правительства, так и ведомственных нормативных актов (приказов Минприроды, Рослесхоза и т. п.). Система нормативных актов строго иерархична, требо-

вания российского законодательства конкретны и детальны, а их объем велик. Соответственно, задача поиска документов, регулирующих отношения в различных сферах (социальной, экологической, административной и иных), их изучения, отслеживания обновлений трудоемка, требует высоких правовых компетенций специалистов, а также доступа к актуальной правовой базе. Поскольку многие аспекты, например порядок обращения с отходами рубок леса, регламентируются различными нормативными документами не всегда одинаково, в ряде случаев возникают коллизии правоприменения, обсуждение которых выходит за рамки данной статьи.

Необходимо отметить, что «Принципы и критерии FSC» не иерархичны, а имеют равный статус. Они недостаточно конкретны, но это компенсируется наличием национальных стандартов FSC, содержащих конкретные индикаторы устойчивого лесопользования, позволяющие понять как применяются принципы и критерии. Главное преимущество «Принципов и критериев FSC», на наш взгляд, заключается в том, что они представляют собой краткую сводку требований и пояснений к ним, которая гораздо удобнее для лесопользователя в плане восприятия. Однако, поскольку первым принципом деятельности в рамках лесной сертификации считается законность, задача мониторинга и соблюдения объемного национального законодательства остается актуальной для российских лесопользователей, выбравших путь лесной сертификации.

Анализ содержания регламентирующих лесопользование документов позволил установить следующее. Требования FSC касаются экологических, экономических и социальных аспектов, причем ряд принципов имеет привязку к одной из названных сфер, в то время как другие касаются двух и более аспектов.

Начнем с экологических требований, к которым могут быть отнесены, прежде всего, принципы № 6, 9 и частично № 3, 5, 8, 10. Соответствующие им требования российского законодательства сформулированы не только лесным законодательством, но и законодательством о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения, законодательством в области охраны окружающей среды, а также в области охраны и использования животного мира и среды его обитания и др.

Естественно, обе сравниваемые системы требований имеют в своем составе положения об охране/защите лесов с целью сохранения леса как экосистемы. При этом под защитой

Основные требования в области лесопользования согласно российскому законодательству

Источник требований	Содержание требований
1	2
1. Права пользования лесными участками	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, ст. 9, 11, 25 (2006)	Основания возникновения и прекращения прав пользования лесными участками Право граждан свободно и бесплатно пребывать в лесах и для собственных нужд осуществлять заготовку и сбор пищевых лесных ресурсов, а также недревесных лесных ресурсов Виды использования лесов
2. Рубки леса (заготовка древесины)	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, ст. 16, 17, 29 (2006) Приказ Минприроды России от 01.12.2020 № 993 (Правила заготовки..., 2020)	Категории лесов, в которых допускается заготовка древесины Запрет заготовки древесины в объеме, превышающем расчетную лесосеку (допустимый объем изъятия древесины), а также с нарушением возрастов рубок Виды рубок (сплошные, выборочные); осуществление сплошных рубок только при условии воспроизводства лесов Возраст насаждений, разрешенных к рубкам Правовые основания совершения рубок Требования и ограничения при осуществлении рубок (в том числе по площади лесосек, обозначению на местности их границ, интенсивности рубок и др.)
3. Иные виды использования леса	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, ст. 31–47 (2006)	Требования в части заготовки живицы, лекарственных растений и других ресурсов, использования лесов в других целях
4. Сохранение (охрана) лесов	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, ст. 19, 60.12, 60.16, гл. 17 (2006) Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (2002) Приказ Минприроды России от 01.12.2020 № 993 (Правила заготовки..., 2020)	Субъекты проведения мероприятий по сохранению лесов Необходимость охраны от загрязнения и иного негативного воздействия Обязанность соблюдения требований законодательства РФ по охране окружающей среды от загрязнения и иного негативного воздействия, выполнения мер по охране лесов от загрязнения (в том числе нефтяного, радиоактивного и другого) и иного негативного воздействия, включая меры по сохранению лесных насаждений, лесных почв, среды обитания объектов животного мира, других природных объектов в лесах, а также осуществления, в т. ч. посредством лесовосстановления и лесоразведения, рекультивации лесных земель Предоставление отчета об охране лесов от загрязнения и иного негативного воздействия Категории защитных лесов и ограничения их использования
5. Санитарные правила использования леса	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, ст. 19, 60.1, 60.3, 60.5, 60.7, 60.11 (2006) Федеральный закон РФ от 30.03.1999 № 52-ФЗ (1999) Федеральный закон от 19.07.1997 № 109-ФЗ (1997) Постановление Правительства РФ от 09.12.2020 № 2047 (Правила санитарной..., 2020) Приказ Минприроды России от 09.11.2020 № 912 (Правила осуществления..., 2020)	Лесозащитное районирование, лесопатологический мониторинг Недопущение загрязнения лесов отходами, вредными веществами Ограничение использования вредных веществ Требования к хранению заготовленной древесины, обработке древесины, предназначенной для сплава Ограничения по заготовке живицы и сбору недревесных лесных ресурсов Требования в части обработок пестицидами Ограничения в области интродукции живых организмов Требования по обращению с порубочными остатками Профилактические (лесохозяйственные и биотехнические) и санитарно-оздоровительные мероприятия по предупреждению распространения вредных организмов Предоставление отчета о защите лесов

Продолжение таблицы

1	2
6. Сохранение биоразнообразия	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, п. 6 ст. 29, ст. 60.15 (2006) Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (2002) Федеральный закон от 14.03.1995 № 33-ФЗ (1995) Федеральный закон от 24.04.1995 № 52-ФЗ (1995) Приказ Рослесхоза от 05.12.2011 № 513 (Перечень видов..., 2011)	Охрана редких и находящихся под угрозой исчезновения деревьев, кустарников, лиан, иных лесных растений, занесенных в Красную книгу РФ или Красные книги субъектов РФ Необходимость проведения мероприятий по сохранению среды обитания объектов животного мира
7. Обеспечение пожарной безопасности в лесах	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, ст. 51, 53, 53.1-53.8 (2006) Федеральный закон РФ от 21.12.1994 № 69-ФЗ (1994) Постановление Правительства РФ от 07.10.2020 № 1614 (Правила пожарной..., 2020)	Мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров Запреты некоторых видов работ в пожароопасный сезон Запрет засорения лесов отходами и мусором Обеспечение проведения мероприятий по защите лесов от пожара Обеспечение наличия средств предупреждения и тушения пожаров Ограничения на сжигание мусора в пожароопасный сезон Требования по хранению ГСМ, проведению работ с использованием взрывчатых веществ Инструктаж работников по пожарной безопасности Требования пожарной безопасности при проведении рубок (очистка мест рубок от порубочных остатков, ограничения по сжиганию порубочных остатков, требования по хранению заготовленной древесины в пожароопасный сезон и др.) Требования пожарной безопасности при проведении других видов работ в лесах и пребывании граждан в лесах
8. Воспроизводство и восстановление леса	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, ст. 61, 63, 66 (2006) Приказ Минприроды России от 04.12.2020 № 1014 (Правила лесовосстановления, 2020) Приказ Минприроды России от 30.07.2020 № 541 (Правила лесоразведения, 2020)	Необходимость воспроизводства леса, мониторинга воспроизводства леса Субъекты лесовосстановления, лесоразведения, ухода за лесами Меры содействия естественному лесовосстановлению Меры и способы искусственного и комбинированного лесовосстановления Требования к посадочному материалу и молоднякам Предоставление отчета о воспроизводстве лесов и лесоразведении
9. Уход за лесом (рубки ухода)	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, ст. 64 (2006) Приказ Минприроды России от 30.07.2020 № 534 (Правила ухода..., 2020)	Лица, на которых возлагается обязанность ухода за лесами Виды рубок ухода, возрастные периоды их проведения и требования к их проведению
10. Лесное планирование и управление	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, гл. 10 (2006) Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 29.02.2012 № 6 (Состав проекта..., 2012)	Направленность планирования в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов (лесного планирования) на обеспечение устойчивого развития территорий Составляющие лесного планирования (лесные планы субъектов РФ, лесохозяйственные регламенты лесничеств, государственная инвентаризация лесов и др.)

Окончание таблицы

1	2
11. Права коренных малочисленных народов	
Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ, п. 2 ст. 30, ст. 48 (2006) Федеральный закон от 30.04.1999 № 82-ФЗ (1999) Федеральный закон от 07.05.2001 № 49-ФЗ (2001) Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ (2002)	Права коренных малочисленных народов на защиту их исконной среды обитания, традиционного образа жизни, хозяйственной деятельности и промыслов, в том числе: – безвозмездное пользование жизненно важными землями различных категорий – участие через делегированных уполномоченных представителей малочисленных народов в подготовке и принятии органами власти решений по вопросам защиты исконной среды обитания, традиционного образа жизни, хозяйственной деятельности и промыслов малочисленных народов – бесплатное осуществление заготовки древесины для собственных нужд
12. Охрана труда и охрана здоровья работников	
Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ (2001)	Оплата и нормирование труда Гарантии и компенсации работникам Требования охраны труда

лесов в РФ понимается, прежде всего, их защита от вредных организмов (ст. 60.1 Лесного кодекса РФ), реализуемая через меры по обеспечению санитарной безопасности в лесах. Понятие охраны леса подразумевает его охрану от пожаров, загрязнения и иного негативного воздействия (ст. 50.7 Лесного кодекса РФ) и реализуется в том числе через отсылку к законодательству в области охраны окружающей среды (ст. 60.12) (Лесной кодекс, 2006). Санитарные и противопожарные правила – отдельные сферы регулирования в лесном законодательстве РФ. Соответствующие требования содержатся в «Правилах санитарной безопасности в лесах» (2020) и «Правилах пожарной безопасности в лесах» (2020). Согласно правилам FSC, понятия охраны и защиты леса взаимозаменяемы, синонимичны (см. глоссарий).

Не вдаваясь в нюансы, можно выделить следующие общие элементы охраны леса по российскому законодательству и правилам FSC: охрана лесов от нефтяного, радиоактивного и иного загрязнения, недопущение загрязнения лесов отходами, регламентация обращения с опасными веществами (химическими препаратами для борьбы с вредителями, горюче-смазочными материалами и пр.). По российским правовым нормам они должны осуществляться всеми лесопользователями. Но схема FSC идет дальше требований российского права, предлагая предприятию разработать и внедрить инструкции для сотрудников, нацеленные на сохранение природных ценностей при осуществлении хозяйствен-

ной деятельности (критерий 10.11, индикатор 10.11.1) (здесь и далее номера критериев приводятся согласно FSC-STD-RUS-02.1-2020 RU (2020)). Поскольку непосредственный уровень негативного воздействия на окружающую среду во многом зависит от уровня экологической грамотности персонала, данные меры представляются оправданными.

Неотъемлемой частью охраны леса является борьба с вредителями. Российское законодательство требует обработку инсектицидами или окорение заселенной стволовыми вредителями древесины либо ее срочный вывоз из леса. Требования FSC (критерий 10.7) предполагают комплексный подход, включающий лесоводственные меры и направленный на исключение использования пестицидов и полный запрет на применение особо опасных из них (согласно утвержденному списку FSC). Также следует минимизировать использование биологических средств защиты растений (критерий 10.8).

Противопожарные меры в FSC рассматриваются как часть лесохозяйственной деятельности (см. директиву к индикатору 10.10.1) и реализуются через обязательное включение системы мер по охране лесов от пожаров в «План управления лесами» (критерий 7.2). Согласно российским требованиям, система мер прописывается в проектах освоения лесов. Также Национальным стандартом лесопользования FSC для Российской Федерации предусмотрена оценка рисков, связанных с хозяйственной деятельностью (критерий 6.2). При этом выявляются участки с

высокой пожароопасностью, затем разрабатываются и реализуются корректирующие меры для снижения риска (см. приложение Е к указанному стандарту).

Огромную значимость для сохранения лесных экосистем имеет охрана биологического разнообразия (т. е. защита биологических видов, в том числе редких) и взаимосвязанная с ней задача охраны местообитаний.

В частности, российским законодательством предусмотрены запрет на вырубку редких пород деревьев, кустарников, лиан и других растений (п. 6 ст. 29, ст. 60.15 Лесного кодекса (2006)), охрана животного мира при осуществлении хозяйственной деятельности, проведение мероприятий по сохранению среды обитания объектов животного мира и условий их размножения, нагула, отдыха и путей миграции при использовании лесов, а также по обеспечению неприкосновенности защитных участков территорий и акваторий, недопущение действий, которые могут привести к гибели, сокращению численности или нарушению среды обитания «краснокнижных» объектов животного мира (ст. 22, 24 ФЗ «О животном мире» (1995)). Сохранению биоразнообразия способствует установление различных категорий защитности лесов и введение в них ограничений по видам лесопользования. Их реализация на уровне лесопользователя предполагается через включение соответствующих мер в проекты освоения лесов.

В рамках лесной сертификации требования отчасти схожи (принципы 6 и 9): существуют защитные категории лесов, а обязательность сохранения биоразнообразия вытекает из требования включения в план управления мер по охране и восстановлению редких и исчезающих видов и их местообитаний (критерий 7.2, индикатор 7.2.3).

Категории защитности лесов в Российской Федерации и в схеме лесной сертификации FSC не совпадают, но в FSC-STD-RUS-02.1-2020 RU (2020) даются пояснения, как они между собой соотносятся. Главное различие российских требований и правил FSC заключается в том, что FSC устанавливает количественные требования. Так, минимальная площадь репрезентативных участков леса должна составлять не менее 10 % площади управляемого участка (см. критерий 6.5, индикатор 6.5.5). Соответствующие участки леса должны сохраняться, а при необходимости восстанавливаться до более естественного состояния. Если речь идет о малонарушенных лесных территориях (МЛТ), то у организации-ле-

сопользователя есть следующие альтернативы (критерий 9.2, индикатор 9.2.3, также см. приложение D1):

1) не менее 80 % площади МЛТ управляемого участка выводятся из хозяйственной деятельности (здесь организуются зоны строгой охраны);

2) не менее 50 % площади МЛТ управляемого участка отводятся в качестве зоны строгой охраны, а на остальной площади допустимо щадящее лесопользование;

3) не менее 30 % площади МЛТ управляемого участка выводятся из хозяйственной деятельности с приданием этим землям официального природоохранного статуса (например, особо охраняемой природной территории, ООПТ), на оставшихся участках допустимо щадящее лесопользование.

При этом строгая охрана подразумевает запрет на рубки и создание лесной инфраструктуры, при необходимости – также контроль за охотой и рыбной ловлей и иными видами деятельности. Щадящее лесопользование предполагает деятельность по поддержанию их природной ценности, например при рубках должны использоваться только лучшие технологии, обеспечивающие максимальное сохранение лесной среды и биологического разнообразия, имитацию естественной динамики леса, лесовосстановление основывается преимущественно на естественном лесовозобновлении. Недопустимо также сокращение самих МЛТ до площади менее 50 тыс. га, есть ограничения по их фрагментации (например, разделению на два и более фрагментов дорогами). При этом зонирование МЛТ лесопользователи могут реализовать только до 01.01.2022 г., впоследствии нужно будет вывести из хозяйственного оборота 100 % МЛТ.

Таким образом, именно в части сбережения МЛТ схема FSC максимально расходится с требованиями российского лесного законодательства, в котором понятие МЛТ отсутствует. Для отечественных предприятий, внедряющих стандарты FSC, камнем преткновения является исполнение требований по охране МЛТ при сплошных рубках. Этот вопрос важен для большинства российских лесопользователей, поскольку у нас в стране сохранились большие массивы малонарушенных лесов. По данным WWF, площадь лесов высокой природоохранной ценности на участках, выделенных в аренду FSC-сертифицированным компаниям России, превышает 13 млн га, в том числе 7.5 млн га из них исключены из хозяйственного освоения

(Всемирный фонд..., 2018). Меры по выводу таких участков из оборота имеют большой экологический эффект. Можно даже сказать, что с позиции экологов они составляют главный смысл лесной сертификации.

На сегодня экологическая ценность лесов, их экосистемные услуги недооценены российским законодательством. Однако наблюдается постепенное сближение российского лесного законодательства и международных подходов. Так, п. 18 «Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в РФ на период до 2030 г.» (2013) предусмотрено «формирование национального лесного наследия Российской Федерации, т. е. фонда лесов, не подлежащих хозяйственному освоению». Малонарушенные лесные территории, на наш взгляд, – первые кандидаты на включение в такой фонд. Также для решения вопроса сохранения МЛТ может быть использована возможность устанавливать новые типы ООПТ регионального уровня. Такое право дает п. 3 статьи 2 Федерального закона «Об ООПТ» (1995).

В части неистощительного пользования лесными ресурсами как российским законодательством, так и принципами FSC предусмотрены оптимальное (комплексное) использование ресурсов леса, расчет допустимых объемов заготовок лесной продукции с учетом уровня неистощительного лесопользования, сохранение экосистемных функций леса. Например, в стандарте FSC это требование звучит так: «Объем продукции и услуг, производимых организацией в пределах единицы управления, в норме должен быть равным или ниже уровня неистощительного производства» (критерий 5.2). Составляющими неистощительного использования леса являются его воспроизводство и восстановление, также наличествующие в обеих системах. Ключевое различие в этой части заключается в том, что FSC содержит прямое требование выявления экосистемных услуг (критерий 5.1, индикатор 5.1.1). В России это требование подразумевается такими принципами лесного законодательства, как обеспечение многоцелевого использования, сохранение полезных функций лесов, но не артикулировано.

В обеих сравниваемых системах важное значение имеют организационные меры охраны леса – проведение оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) до начала деятельности и мониторинг состояния и использования леса (в FSC – критерий 6.2).

По социальным вопросам, можно выделить два основных блока требований – соблюдение прав работников лесной отрасли, охрана их здоровья и охрана прав, обеспечение интересов местного населения и, особо, коренных народов, ведущих традиционный образ жизни (принципы FSC №№ 2, 3, 4), а также легальность и соответствие (принцип FSC № 1).

Права работников и условия труда представлены в сравниваемых системах практически идентично. Так, в обеих системах предусматриваются выплата справедливой заработной платы, превышающей минимальный уровень оплаты труда, а также равенство прав мужчин и женщин, с предоставлением российским законодательством особых прав для женщин, работающих в условиях Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, в части уменьшения количества рабочих часов (36 ч), социальные гарантии, охрана труда и здоровья (обеспечение работников специальной одеждой), компенсации в случае профессионального заболевания, производственных травм, профессиональное обучение персонала, проведение инструктажей и т. д.

Как в российском законодательстве, так и в правилах FSC имеется ряд обязательств перед местным населением, включая коренные народы. Они направлены, прежде всего, на соблюдение их прав в отношении использования ресурсов леса, обеспечение доступности информации о деятельности и ее последствиях и возможности влиять на принятие решений по ведению хозяйственной деятельности на территории их проживания (через систему общественных слушаний), на компенсацию нанесенного ущерба.

Согласно правилам FSC, места особой ценности местного населения и коренных народов культурного, экологического, экономического, религиозного и духовного характера должны быть определены организацией-лесопользователем (им присваивается статус высоких природоохранных ценностей) и взяты под охрану лесопользователем (критерии 3.5 и 4.7). В России похожие требования действуют в рамках природоохранного законодательства и законодательства в области государственной охраны объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации, но обязанности выявления и сохранения мест особой ценности лежат прежде всего на государстве.

Ряд требований FSC выше российских. В частности, в организации, действующей по

правилам FSC, необходима разработка процедуры разрешения споров с заинтересованными сторонами (критерий 1.6, индикатор 1.6.2). Также должен быть налажен документированный учет споров (индикатор 1.6.3). Эти требования повторяются с небольшими вариациями в отношении жалоб и споров с работниками (критерий 2.6, индикаторы 2.6.1 и 2.6.2), с местным населением (критерий 4.6, индикаторы 4.6.1 и 4.6.3). Существование острых и длительных споров даже может стать поводом для приостановления хозяйственной деятельности на затронутых территориях (индикатор 1.6.4).

В качестве мер, способствующих улучшению социального и экономического благосостояния местных сообществ, стандартом FSC требуется содействие местному населению в трудоустройстве и обучении (критерии 4.3 и 5.4). Приветствуется деятельность лесопользователя по социальному и экономическому развитию местных сообществ, включая поддержание объектов социальной инфраструктуры поселений, образовательных проектов, медицинское страхование работников в пределах сертифицируемой территории и вблизи нее (критерий 4.4).

Одна из новелл Национального стандарта лесопользования FSC для Российской Федерации – необходимость оформления особого документа – свободного предварительного осознанного согласия коренных народов и/или местных сообществ в случаях, когда затрагиваются их права (критерии 3.2 и 4.2). К таким случаям могут быть отнесены использование владений, традиционно находящихся в распоряжении коренных народов и местных сообществ, а также их знаний, интеллектуальной собственности (см. также критерии 3.6 и 4.8). Указанное согласие должно быть получено на этапе планирования хозяйственной деятельности (до ее начала) и оговаривать обязательства лесопользователя, в том числе по возмещению нанесенного ущерба. Аналогов данного понятия в российском лесном праве нет.

Существенные различия связаны с определением коренного или некоренного статуса народов, проживающих в регионе деятельности лесопромышленной организации. В России есть лишь понятие коренных *малочисленных* народов (менее 50 тыс. чел.). Однако представители ряда более многочисленных народов Российской Федерации так же ведут традиционный образ жизни и зависят от состояния и качества природных ресурсов территории. Кроме того, FSC требует

учитывать местные сообщества, ведущие традиционный образ жизни, не только официально признаваемые законодательством в качестве коренных (малочисленных) народов, но и не признаваемые, однако заявившие о себе.

Также в стандарте FSC-STD-RUS-02.1-2020 RU (2020) по сравнению с первой версией сглажены различия между местными сообществами и коренными народами (за местными сообществами признаются практически те же права, что и за коренными народами). В России этот вопрос пока не решен, хотя известны конфликты, вызванные наличием ограничений прав местного населения, не имеющего статус коренных малочисленных народов, в части природопользования при наличии соответствующих предпочтений у представителей таких народов, например, по праву на вылов рыбы на Дальнем Востоке (Глава..., 2013), или отсутствием у народов статуса коренных малочисленных (Ташбулатова, Уразова, 2014).

Вопросам правового поля посвящен первый принцип FSC. Лесная сертификация возможна лишь при условии соблюдения национального законодательства, включая акты, принятые на региональном уровне, оплаты всех предусмотренных сборов, налогов и т. п., исполнения международных соглашений, подписанных властями стран-участников лесной сертификации, принятия антикоррупционных мер. Эти требования большей частью наличествуют в российском законодательстве.

В экономической сфере требования FSC касаются прежде всего вопросов планирования хозяйственной деятельности, мониторинга и оценки (принципы № 7 и 8), а также многоцелевого использования леса и лесовосстановления (принципы № 5 и 10) для обеспечения наличия сырьевой базы.

В российском лесном законодательстве вопросы планирования деятельности по использованию лесов решаются в рамках сложной иерархической системы – от планирования на уровне субъекта Российской Федерации (лесные планы) через уровень лесничеств (лесохозяйственные регламенты) до уровня арендаторов лесных участков (проекты освоения лесов). В проекте освоения лесов должна быть дана их полная характеристика, вписаны требования по заготовке древесины и недревесных ресурсов леса, переработке лесных ресурсов, пожарной охране леса, охране животного мира, восстановлению леса, созданию лесных плантаций и т.п.

По схеме FSC основой управления является план, распространяющийся на все, включая земли и инфраструктуру. План управления лесами также перекрывает позиции, фигурирующие в проекте освоения лесов, а кроме того требует указывать наличие лесов высокой природоохранной ценности, репрезентативных участков экосистем, местообитаний редких видов растений, животных и грибов, значение территории для местного населения (привычные места отдыха, охоты, рыболовства, сбора грибов, ягод и т. п.). Предусмотрено доведение информации по плану управления до местных жителей с целью учета их предложений (критерий 4.2, индикатор 4.2.1, критерий 7.5). Сроки планирования сопоставимы: для проекта освоения лесов в России – не более 10 лет, для плана управления лесами по правилам FSC – пересмотр не реже раза в 10 лет.

Достижение устойчивого управления лесами невозможно без мониторинга и оценки, под которыми в системе FSC подразумевается ведение мониторинга и оценка успехов по достижению целей управления, по воздействию хозяйственной деятельности, включая ее экологические и социальные последствия, по изменению состояния окружающей среды на территории единицы управления. В частности, подлежат анализу объемы, способы лесовосстановительных мероприятий, используемые для этого растения, негативные эффекты использования чужеродных видов, удобрений и пестицидов, мероприятий по развитию лесной инфраструктуры, природные ценности и меры по их охране, экосистемные услуги, соблюдение законодательных требований и многие другие аспекты лесопользования (критерий 7.2, индикатор 7.2.5, критерии 8.1–8.3). Особый упор сделан на систему отслеживания продукции с территории единицы управления (критерий 8.5).

В российской системе данные функции выполняют государственный мониторинг воспроизводства лесов, мониторинг пожарной опасности и государственный лесопатологический мониторинг, но, во-первых, сфера их охвата уже, чем по системе FSC, а во-вторых, задача ведения данных видов мониторинга возложена не на лесопользователя, а на государство. Также в России действует требование учета вырубленной лесопользователем древесины, совершенствуется Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней.

Особое внимание FSC уделяется прозрачности деятельности лесопользователя – требу-

ется информационное взаимодействие со всеми заинтересованными сторонами (критерий 7.6). В Лесном кодексе (2006) неоднократно упоминается отчетность лесопользователя, например Отчет об использовании лесов (ст. 49), Отчет об охране лесов от пожаров (ст. 60), Отчет о защите лесов (ст. 60.11), Отчет об охране лесов от загрязнения и иного негативного воздействия (ст. 60.16), Отчет о воспроизводстве лесов и лесоразведении (ст. 66), с той лишь разницей, что адресатом отчетности является одна заинтересованная сторона – государство, а для общественности данные отчетности недоступны.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что требования российского лесного законодательства и лесной сертификации FSC имеют много общего. Схожесть сравниваемых систем во многом обусловлена тем, что российский стандарт FSC подготовлен с учетом действующего российского законодательства. Стандарт содержит минимальный перечень нормативных правовых актов Российской Федерации (приложение А), разработанные индикаторы во многом апеллируют к положениям российского законодательства (например, индикатор 4.4.1), то же самое отчасти касается и терминологии (например, при рассмотрении «прибрежных зон» используются термины «водоохранные зоны» и «прибрежные защитные полосы», см. критерий 6.7). Но есть и пример положений международных принципов и критериев FSC, которые не обязательны к применению в России. Так, «Национальный стандарт лесопользования FSC для Российской Федерации» дает возможность исключения критерия 3.6, связанного с компенсациями за знания коренных народов, поскольку в нашей стране нет аналогичного законодательного требования и неизвестна соответствующая практика.

Однако требования ряда критериев FSC превышают законные обязанности организации-лесопользователя в Российской Федерации по всем трем измерениям – экологическому, социальному и экономическому.

Относительно процедуры внешней оценки соответствия требованиям обозначим следующее. Сертификационный цикл лесной сертификации по правилам FSC от проведения предварительного аудита через основной аудит до процедуры оформления и регистрации сертификата, а также последующие ежегодные надзорные аудиты и ресертификацию (в общем случае раз в 5 лет) оказывается индивидуален у каждого держателя сертификата в силу того,

что он определяется различной степенью готовности предприятий к сертификации и временем устранения выявляемых несоответствий. Так же и государственный лесной контроль (надзор) как совокупность плановых и внеплановых проверок для каждого предприятия будет протекать по индивидуальному маршруту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В фокусе настоящего исследования находились оценка российской нормативной правовой базы с позиций представленности в ней требований устойчивого управления лесами и сравнение ее со стандартом лесной сертификации FSC на примере «Национального стандарта лесопользования FSC для Российской Федерации» 2021 г.

В ходе исследования выявлено, что по форме представления требований в области устойчивого лесопользования преимущество остается за «Принципами и критериями FSC», так как они представляют собой сравнительно краткую, удобную для восприятия сводку требований.

Что касается содержания, на концептуальном уровне российские нормативно-правовые акты в области лесопользования и смежных областях и требования в рамках международной лесной сертификации на примере «Принципов и критериев FSC» по большей части совпадают. Лишь отдельные требования FSC превышают отечественные нормы. Так, сложившаяся в РФ система лесопользования проигрывает в вопросах взаимоотношения с местным населением и коренными народами, обнародования информации о лесопользовании. Также существенна разница позиций по охране особо ценных, эталонных участков леса, малонарушенных лесных территорий.

Следовательно, на территории России можно применять как международные системы лесной сертификации, так и разработать новую, независимую от международных, национальную систему лесной сертификации. Современное российское лесное законодательство идет по пути гармонизации с международными требованиями в области устойчивого лесопользования и вполне может стать основой отечественной системы лесной сертификации, помогая лесопользователям достигать экологически грамотного, социально выгодного и экономически жизнеспособного управления лесами. Однако, в случае разработки национальной системы лесной сертификации из опыта международных систем

лесной сертификации целесообразно перенять элементы социально ответственного управления лесами и усилить экологические требования по сохранению редких и исчезающих видов живых организмов и лесов высокой природоохранной ценности, что облегчит процесс ее международного признания.

В свое время одной из причин разработки стандартов лесной сертификации стали опасения экологов и ответственных потребителей из-за большого объема нелегальных рубок, разрушительных последствий сплошных рубок для лесной среды и биоразнообразия, чрезмерного использования в лесах пестицидов и удобрений, а также необходимость принятия специальных мер по сохранению малонарушенных лесов тропического и умеренного поясов, недостаточный учет или игнорирование интересов и прав местных сообществ и коренных народов (Карпачевский и др., 2009). При разработке отечественной системы лесной сертификации эти аспекты нельзя упустить из виду.

Кроме того, требуется провести глубокий анализ возможных противоречий требований FSC российскому законодательству с учетом накопленного опыта. Он позволит повысить доверие к создаваемой системе у иностранных потребителей продукции лесного комплекса России. Также следует проработать вопросы экономической заинтересованности лесопользователей во внедрении национальной лесной сертификации. Например, меры по оптимизации использования средств на проведение рубок ухода в молодняках, которые не имеют большой экономической отдачи, но требуются для эффективного лесовосстановления, или же введение налоговых льгот на подобные работы.

Заметим, что система лесной сертификации по правилам FSC тоже совершенствуется. Сегодня ее развитие идет в направлении расширения учета экосистемных и климатических услуг: FSC разрабатывает требования и индикаторы так называемой экосистемной сертификации (ее еще называют «FSC+») (Экология..., 2016). При формировании российской системы лесной сертификации имеет смысл сработать на опережение и заложить механизмы, позволяющие принимать во внимание ценность таких экосистемных услуг, как депонирование углерода и генерация кислорода, образование почв и их защита от эрозии, значение биостационарной, водорегулирующей и иных экологических функций леса, а не только ценность древесины и иных ликвидных на сегодня ресурсов леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
(REFERENCES)

- Всемирный фонд дикой природы. Добровольная лесная сертификация по схеме Лесного попечительского совета (FSC), 2018 [*Vsemirny fond dikoy prirody. Dobrovol'naya lesnaya sertifikatsiya po skheme Lesnogo popechitel'skogo soveta (FSC), 2018 (World Wildlife Fund. Voluntary forest certification under the Forest Stewardship Council (FSC) scheme) (in Russian)*]. <https://wwf.ru/about/positions/fsc/>
- Глава Росрыболовства предложил давать льготы на вылов рыбы только тем КМНС, которые добывают ее не для продажи. 09.09.2013 [*Glava Rosrybolovstva predlozhit davat' l'goty na vylov ryby tol'ko tem KMNS, kotorye dobyvayut ee ne dlya prodazhi. 09.09.2013 (The head of Rosrybolovstvo proposed to give benefits for catching fish only to those indigenous small-numbered peoples who extract it not for sale. 09 Sep. 2013) (in Russian)*]. <https://nazaccent.ru/content/8996-glava-rosrybolovstva-predlozhit-davat-lgoty-na.html>
- Карпачевский М. Л., Тепляков В. К., Яницкая Т. О., Ярошенко А. Ю. Основы устойчивого лесоправления. М.: WWF, 2009. 143 с. [*Karpachevskiy M. L., Teplyakov V. K., Yanitskaya T. O., Yaroshenko A. Y. Osnovy ustoychivogo lesoupravleniya (Fundamentals of sustainable forest management). Moscow: WWF, 2009. 143 p. (in Russian)*].
- Комитет Государственной Думы по природным ресурсам, собственности и земельным отношениям. Резолюция круглого стола на тему «О добровольной сертификации в лесной отрасли: основные цели и принципы», состоявшегося 14 ноября 2018 года [*Komitet Gosudarstvennoy Dumy po prirodnym resursam, sobstvennosti i zemel'nyim otnosheniyam. Rezolyutsiya kruglogo stola na temu «O dobrovol'noy sertifikatsii v lesnoy otrasli: osnovnye tseli i printsipy», sostoyavshegosya 14 noyabrya 2018 goda (The State Duma Committee on Natural Resources, Property and Land Relations. Resolution of the round table on the topic «On voluntary certification in the forest industry: main goals and principles», held on 14 Nov. 2018) (in Russian)*]. http://komitet3-1.test.km.duma.gov.ru/upload/site49/document_news/017/558/689/REZOLYuTsIYA_Sertifikatsiya_14.11.18.pdf
- Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ [*Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 04.12.2006 N. 200-FZ (Forest Code of the Russian Federation of 04 Dec. 2006 N. 200-Federal Law) (in Russian)*]. <https://base.garant.ru/12150845/>
- Моисеев Н. А. Лесоправление и лесной сектор России: условия и пути перехода к интенсивной модели // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 7–13 [*Moiseev N. A. Lesoupravlenie i lesnoy sektor Rossii: usloviya i puti perekhoda k intensivnoy modeli (Forest management and forest sector of Russia: conditions and ways for transition to intensive model) // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2014. N. 1. P. 7–13 (in Russian with English abstract)*].
- Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в РФ на период до 2030 г. Утв. распоряжением Правительства РФ от 26.09.2013 № 1724-р [*Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ispol'zovaniya, okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov v RF na period do 2030 g. Utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 26.09.2013 N. 1724-r (Fundamentals of state policy in the field of use, protection, protection and reproduction of forests in the Russian Federation for the period up to 2030. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 26 Sep. 2013 N. 1724-r) (in Russian)*]. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70361820/>
- Перечень видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается. Утв. приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 05.12.2011 № 513 [*Perechen' vidov (porod) derev'ev i kustarnikov, zagotovka drevesiny kotorykh ne dopuskaetsya. Utv. prikazom Federal'nogo agentstva lesnogo hozyaystva ot 05.12.2011 N. 513 (The list of species (breeds) of trees and shrubs, the harvesting of which is not allowed. Approved by the order of the Federal Forestry Agency dated 05 Dec. 2011 N. 513 (in Russian)*]. <https://base.garant.ru/70130722/>
- Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в ст. 23 Лесного кодекса Российской Федерации. Утв. приказом Минприроды России от 01.12.2020 № 993 [*Pravila zagotovki drevesiny i osobennosti zagotovki drevesiny v lesnichestvah, ukazannykh v stat'e 23 Lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii. Utv. prikazom Minprirody Rossii ot 01.12.2020 N. 993 (Rules of wood harvesting and features of wood harvesting in forestry specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation. Approved by Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 01 Dec. 2020 N. 993) (in Russian)*]. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983487/>
- Правила лесовосстановления. Утв. приказом Минприроды России от 04.12.2020 № 1014 [*Pravila lesovosstanovleniya. Utv. prikazom Minprirody Rossii ot 04.12.2020 N. 1014 (Rules of reforestation. Approved by the order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 04 Dec. 2020 N. 1014 (in Russian)*]. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983471/>
- Правила лесоразведения. Утв. приказом Минприроды России от 30.07.2020 № 541 [*Pravila lesorazvedeniya. Utv. prikazom Minprirody Rossii ot 30.07.2020 N. 541 (Rules of afforestation. Approved by Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 30 Jul. 2020 N. 541) (in Russian)*]. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74858410/>
- Правила осуществления мероприятий по предупреждению распространения вредных организмов. Утв. приказом Минприроды России от 09.11.2020 № 912 [*Pravila osushchestvleniya meropriyatiy po preduprezhdeniyu rasprostraneniya vrednykh organizmov. Utv. prikazom Minprirody Rossii ot 09.11.2020 N. 912 (Rules for the implementation of measures to prevent the spread of harmful organisms. Approved by Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 09 Nov. 2020 N. 912 (in Russian)*]. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74969200/>
- Правила пожарной безопасности в лесах. Утв. постановлением Правительства РФ от 07.10.2020 № 1614 [*Pravila pozharnoy bezopasnosti v lesakh. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 07.10.2020 N. 1614 (Fire safety rules*

- in forests. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 07 Oct. 2020 N. 1614 (in Russian)]. <https://base.garant.ru/74739511/>
- Правила санитарной безопасности в лесах.* Утв. постановлением Правительства РФ от 09.12.2020 № 2047 [Pravila sanitarnoy bezopasnosti v lesakh. Utv. Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 09.12.2020 N. 2047 (Rules of sanitary safety in forests. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 09 Dec. 2020 N. 2047 (in Russian))]. <https://base.garant.ru/75037636/>
- Правила ухода за лесами.* Утв. приказом Минприроды России от 30.07.2020 № 534 [Pravila ukhoda za lesami. Utv. prikazom Minprirody Rossii ot 30.07.2020 N. 534 (Rules for the forest care. Approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 30 Jul. 2020 N. 534 (in Russian))]. <https://base.garant.ru/75083479/>
- Состав проекта освоения лесов и порядок его разработки.* Утв. приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 29.02.2012 № 69 [Sostav proekta osvoeniya lesov i poryadok ego razrabotki. Utv. prikazom Federal'nogo agentstva lesnogo hozyaystva ot 29.02.2012 N. 69 (The composition of the forest development project and the procedure for its development. Approved by Order of the Federal Forestry Agency N. 69 dated 29 Feb. 2012 (in Russian))]. <https://base.garant.ru/70171946/>
- Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года.* Утв. распоряжением Правительства РФ от 11.02.2021 № 312-р [Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoj Federatsii do 2030 goda. Utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 11.02.2021 N. 312-r (Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 11 Feb. 2021 N. 312-r) (in Russian)]. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400235155/>
- Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года.* Утв. распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р [Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoj Federatsii s nizkim urovnem vybrosov parnikovyykh gazov do 2050 goda. Utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 29.10.2021 N. 3052-r (The strategy of socio-economic development of the Russian Federation with a low level of greenhouse gas emissions until 2050. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 29 Oct. 2021 N. 3052-r) (in Russian)]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/
- Ташбулатова Э., Уразова Н. М.* Особенности развития человеческого потенциала сибирско-татарского этноса (на примере характеристики социально-экономического положения «заболотных татар») // Человеческий и профессиональный потенциал молодежи региона: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 2014. С. 178–180 [Tashbulatova E., Urazova N. M. Osobennosti razvitiya chelovecheskogo potentsiala sibirsko-tatarskogo etnosa (na primere kharakteristiki sotsial'no-ekonomicheskogo polozheniya «zabolotnykh tatar») (Features of the development of the human potential of the Siberian Tatar ethnic group (on the example of the socio-economic situation characteristics of the «swamp Tatars»)) // Chelovecheskiy i professional'ny potentsial molodezhi regiona: mat-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Human and professional potential of the region's youth: Proc. All-Rus. Sci. and Pract. Conf. of Students, Postgraduates and Young Scientists). Tyumen, 2014. P. 178–180 (in Russian)].
- Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ* [Trudovoy kodeks RF ot 30.12.2001 N. 197-FZ (Labor Code of the Russian Federation dated 30 Dec. 2001 N. 197-FZ (in Russian))]. <https://base.garant.ru/12125268/>
- Федеральный закон «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» от 19.07.1997 № 109-ФЗ* [Federal'ny zakon «O bezopasnom obrashchenii s pestitsidami i agrokhimikatami» ot 19.07.1997 N. 109-FZ (Federal Law «On the Safe Handling of Pesticides and Agrochemical» dated 19 Jul. 1997 N. 109-FZ) (in Russian)]. <https://base.garant.ru/11900732/>
- Федеральный закон «О гарантиях прав коренных малочисленных народов Российской Федерации» от 30.04.1999 № 82-ФЗ* [Federal'ny zakon «O garantiyakh prav korennykh malochislennykh narodov Rossiyskoj Federatsii» ot 30.04.1999 N. 82-FZ (Federal Law «On Guarantees of the Rights of Indigenous Minorities of the Russian Federation» dated 30 Apr. 1999 N. 82-FZ (in Russian))]. <https://constitution.garant.ru/act/right/180406/>
- Федеральный закон «О животном мире» от 24.04.1995 № 52-ФЗ* [Federal'ny zakon «O zhivotnom mire» ot 24.04.1995 N. 52-FZ (Federal Law «On the Animal World» dated 24 Apr. 1995 N. 52-FZ (in Russian))]. <https://base.garant.ru/10107800/>
- Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69-ФЗ* [Federal'ny zakon «O pozharney bezopasnosti» ot 21.12.1994 N. 69-FZ (Federal Law «On Fire Safety» dated 21 Dec. 1994 N. 69-FZ (in Russian))].
- Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ* [Federal'ny zakon «O sanitarno-epidemiologicheskom blagopoluchii naseleniya» ot 30.03.1999 N. 52-FZ (Federal Law «On Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population» dated 30 Mar. 1999 N. 52-FZ) (in Russian)]. <https://base.garant.ru/12115118/>
- Федеральный закон «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации» от 07.05.2001 № 49-ФЗ* [Federal'ny zakon «O territoriyakh traditsionnogo prirodopol'zovaniya korennykh malochislennykh narodov Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka Rossiyskoj Federatsii» ot 07.05.2001 N. 49-FZ (Federal Law dated 07 May 2001 N. 49-FZ «On the Territories of Traditional Nature Use of Indigenous Peoples of the North, Siberia and the Far East of the Russian Federation» (in Russian))]. <https://base.garant.ru/12122856/>
- Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» от 25.06.2002 № 73-ФЗ* [Federal'ny zakon «Ob ob'ektah kul'turnogo naslediya (pamyatnikah istorii i kul'tury) narodov Rossiyskoj Federatsii» ot 25.06.2002 N. 73-FZ (Federal Law «On Objects of Cultural Heritage (Historical and Cultural Monuments) of the Peoples of the Russian Federation» dated 25 Jun. 2002 N. 73-FZ (in Russian))]. <https://base.garant.ru/12127232/>
- Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 № 33-ФЗ* [Federal'ny zakon «Ob osobo okhranyаемых prirodnykh territoriyakh» ot 14.03.1995 N. 33-FZ (Federal'ny zakon

- «Ob osobo okhranyaemykh prirodnikh territoriyakh» ot 14.03.1995 N. 33-FZ (Federal Law «On Specially Protected Natural Territories» dated 14 Mar. 1995 N. 33-FZ (in Russian)). <https://base.garant.ru/10107990/>
- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ [Federal'ny zakon «Ob okhrane okruzhayushchey sredy» ot 10.01.2002 N. 7-FZ (Federal Law «On Environmental Protection» dated 10 Jan. 2002 N. 7-FZ) (in Russian)]. <https://base.garant.ru/12125350/>
- Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г., Кракснер Ф., Онучин А. А. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 3–25 [Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Kraxner F., Onuchin A. A. Perekhod k ustoychivomu upravleniyu lesami Rossii: teoretiko-metodicheskie predposylki (Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological backgrounds) // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2017. N. 6. P. 3–25 (in Russian with English abstract)].
- Экология и жизнь. Лесная сертификация в России – проблемы и перспективы / Рассказывает Андрей Птичников, шеф «Лесного совета» FSC, 2016 [Ekologiya i zhizn'. Lesnaya sertifikatsiya v Rossii – problemy i perspektivy (Ecology and life. Forest certification in Russia – problems and prospects) / Rasskazyvaet Andrey Ptichnikov, shef «Lesnogo soveta» FSC (Andrey Ptichnikov, Head of the FSC Forest Council, says), 2016 (in Russian)]. <http://www.ecolife.ru/intervju/43384/>
- Fraser A. Achieving the sustainable management of forests. Springer, Cham, 2019. 213 p.
- FSC Russia. Факты и цифры, 2021 [FSC Russia. Fakty i tsifry (FSC Russia. Facts and figures), 2021 (in Russian)]. <https://ru.fsc.org/ru-ru/o-nas/fakty-i-cifry>
- FSC-STD-01-001 V5-2 EN. FSC principles and criteria of forest stewardship, 2015. 32 p.
- FSC-STD-60-004 V1-0 EN. Единые международные индикаторы. Рабочий перевод FSC России. 2015. 79 с. [Edinye mezhdunarodnye indikatory. Rabochiy perevod FSC Rossii (International Generic Indicators. Working translation of the FSC of Russia). 2015. 79 p. (in Russian)].
- FSC-STD-RUS-02.1-2020 RU. Национальный стандарт лесоправления FSC для Российской Федерации. 2020. 187 с. [Natsional'ny standart lesoupravleniya FSC dlya Rossiyskoy Federatsii (The FSC National Forest Stewardship Standard of Russian Federation). 2020. 187 p. (in Russian)].
- Jeakins P., Sheppard S. R., Bunnell F. L., Wells R. Arrow IFPA Series: Note 1 of 8. A framework for sustainable forest management // BC J. Ecosyst. Manag. 2006. V. 7. N. 1. P. 37–49.
- Kumar Dh., Thakur C. L., Bhardwaj D. R., Sharma N., Sharma H., Sharma P. Sustainable forest management a global review // Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2021. V. 10. N. 1. P. 2521–2528.
- Maesano M., Ottaviano M., Lidestav G., Lasserre B., Matteucci G., Scarascia Mugnozza G., Marchetti M. Forest certification map of Europe // iForest. 2018. V. 11. N. 4. P. 526–533.
- Nigatu M. Review on role of forest certification // Int. J. Environ. Sci. Nat. Res. 2019. V. 18. N. 4. P. 0121–0123.
- Teketay D., Barklund Å. Forest certification. A potential tool to promote SFM in Africa: A report prepared for the project Lessons Learnt on Sustainable Forest Management in Africa. 2004. 19 p. https://www.researchgate.net/publication/351816521_Lessons_Learnt_on_Sustainable_Forest_Management_in_Africa

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS OF THE RUSSIAN FOREST LEGISLATION AND FSC FOREST CERTIFICATION

O. A. Prituzhalova¹, M. V. Gorshkova²

¹ University of Tyumen
Volodarskiy str., 6, Tyumen, 625003 Russian Federation

² Sveza-Les Ltd., Tyumen plywood factory
Kamchatskaya str., 196, Tyumen, 625034 Russian Federation

E-mail: spook191@yandex.ru, mariagorshkova72@gmail.com

Received 20.07.2021

Nowadays, internationally recognized voluntary forest certification schemes are widely used in Russia: more than a third of all forests leased to loggers are certified according to international standards. At the same time, the State Duma of the Russian Federation has made a proposal to develop a domestic forest certification system to protect national interests. The purpose of this article is to identify the similarities and differences between the requirements that are stated in Russian forest legislation and international forest certification standards in the example of The FSC (Forest Stewardship Council) National Forest Stewardship Standard of Russian Federation. This, in turn, will explain on what basis it is advisable to form a set of rules for the Russian national forest certification system. As a result of the research, we found that at the conceptual level, Russian legal acts in the field of forest management and related areas mostly coincide with the requirements of the FSC and can form the basis of the Russian national forest certification system. Both of the systems aim to protect forests from pollution and to preserve the every kind of forest resource; however, FSC requirements are more stringent in terms of how the aforementioned procedures are to be managed – according to these requirements, loggers must develop guidelines containing ecological rules for forest use and educate their workers about these rules. FSC regulations that are connected with pest control are stricter in comparison with the regulations of Russian legal documents (the former emphasises the use of mostly non-chemical methods); the same is true for FSC regulations connected with biodiversity and the maintenance of high conservation value forests, including intact forest landscapes. It is in the preservation of intact forest landscapes that the FSC scheme differs from the requirements of the Russian legislation the most. The FSC scheme sets the percentage of forested areas in which felling is permitted. With respect to social aspects, both systems set a high bar in the area of the rights of workers and work conditions, but FSC regulations are more stringent in terms of considering the interests of the local communities and, in particular, indigenous populations. During the formation of the Russian forest certification system, it is reasonable to consider mechanisms that take into account ecosystem services of forested areas.

Keywords: *forest protection, forest legislation, National Forest Stewardship Standard for Russian Federation.*

How to cite: Prituzhalova O. A., Gorshkova M. V. Comparative analysis of the requirements of the Russian forest legislation and FSC forest certification // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 1. P. 3–19 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630:581.192+ 674.032.475.352

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА ХВОИ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫБРОСОВ ИРКУТСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

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

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

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

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

Поступила в редакцию 08.10.2021 г.

Приведены данные о содержании химических элементов в хвое деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), произрастающих на разном удалении от Иркутского алюминиевого завода (ИркАЗа), а также на фоновых территориях. Показано, что вблизи завода в хвое лиственницы наблюдается выраженный дисбаланс содержания элементов, об этом свидетельствует увеличение концентрации F в 2.1 раза, S в 1.9 раза, «легких металлов» (Al, Li, Ti, Sc) в 2.4–5.3 раза по сравнению с фоновыми значениями. В группе тяжелых металлов и металлоидов в большей степени изменяются концентрации Be, Cd, Ce, Co, Cr, Fe, La, Pb, V, Zn, Y – их повышенный уровень в хвое отмечен на расстоянии до 40 км от завода. Концентрации Ba, Si, As, Ni значительно увеличиваются в промышленной зоне, тогда как на остальной территории находятся в пределах фоновых значений. Сумма биогенных макроэлементов (N, K, Ca, Mg, P, Na) в загрязненной хвое возрастает на 17–23 %. О разбалансированности элементного состава хвои свидетельствуют индексы биогеохимической трансформации, высокие значения которых обнаружены в промышленной зоне, средние – на расстоянии до 5 км от завода, на остальной территории изменения в элементном составе хвои менее выражены, а индекс трансформации соответствует минимальному уровню. Нарушения в работе фотосинтетического аппарата хвои загрязняемых деревьев проявляются в снижении содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, уменьшении показателя фотохимической активности фотосистемы II (F_v/F_m), в то время как значения фоновой флуоресценции хлорофилла F_0 увеличиваются по сравнению с фоновыми значениями. Выявленные обратные корреляционные связи между содержанием S, F, а также ряда тяжелых металлов в хвое и уровнем пигментов в ней ($R = -0.59-0.87$) свидетельствуют о существенном влиянии эмиссий на пигментный комплекс деревьев, особенно в промышленной зоне завода и на расстоянии до 5 км от нее.

Ключевые слова: *Larix sibirica* Ledeb., хвоя, элементный химический состав, хлорофиллы, каротиноиды, флуоресценция хлорофилла, техногенные эмиссии.

DOI: 10.15372/SJFS20220102

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из приоритетных негативных факторов, влияющих на состояние лесных экосистем Иркутской области, является атмосферное промышленное загрязнение (Михайлова и др., 2020). Общий ежегодный объем атмосферных выбросов предприятий области составляет более 640 тыс. т, при этом выражен-

ной тенденции к его уменьшению не наблюдается (Государственный доклад..., 2021). Существенный вклад в загрязнение окружающей среды региона вносит цветная металлургия, в частности алюминиевая промышленность. Здесь функционирует два мощных алюминиевых завода – Братский (БрАЗ) и Иркутский (ИркАЗ), выпускающие ежегодно около 1.5 млн т алюминия. В г. Тайшет начал работу еще один за-

вод. Предприятия, относящиеся к этой отрасли, в силу технологической специфики поставляют в атмосферу значительное количество опасных веществ, таких как фтористый водород, диоксид серы, оксид углерода, техногенная пыль, в составе которой велика доля тяжелых металлов, а также полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), оказывающие неблагоприятное воздействие на компоненты природной среды и здоровье населения (Михайлова и др., 2013; Brougham et al., 2013; Mikhailova et al., 2013; Martin, Lariviere, 2014; Feng et al., 2019).

ИркАЗ запущен в 1962 г., выпуск алюминия осуществлялся по технологии Содерберга с использованием самообжигающихся анодов. С 2004 г., в рамках масштабной экологической модернизации, здесь внедрялись в работу системы оборотного водоснабжения и сухой газоочистки, а также была запущена новая серия электролизеров, работающих по технологии обожженных анодов. Эта технология более эффективна в экологическом плане, поскольку израсходованные аноды заменяются предварительно обожженными анодными блоками. Благодаря модернизации производства ежегодный объем аэровыбросов в последние годы не превышает 35 тыс. т загрязняющих веществ (Государственный доклад..., 2021).

Тем не менее длительный период работы завода и значительный объем аэровыбросов в прошлые десятилетия (свыше 90 тыс. т/год) не могли не сказаться на состоянии светлых лесов, произрастающих в окрестностях завода. Результаты долговременного мониторинга состояния сосновых лесов Иркутской области, приводимые сотрудниками СИФИБРА СО РАН (г. Иркутск), свидетельствуют об ухудшении показателей жизненного состояния древостоев вследствие загрязнения техногенными эмиссиями Шелеховского промцентра на расстоянии до 20 км от него. При этом, несмотря на снижение объемов выбросов, устойчивой тенденции к улучшению состояния сосновых лесов в последние годы наблюдений не отмечалось (Михайлова и др., 2017).

Известно, что в результате фоллиарного и почвенного поглощения элементов, входящих в состав выбросов, в ассимиляционных органах деревьев происходит изменение баланса элементов, что приводит к нарушению физиолого-биохимических процессов, изменению ростовых характеристик и продуктивности древостоя (Mikhailova et al., 2017), поэтому исследованиям элементного состава ассимиляционных органов

лесных древесных растений в настоящее время уделяется большое внимание (Vanguelova et al., 2011; Mellert, Göttlein, 2012; Sardans et al., 2016; Status..., 2019; и др.). В отличие от питательного режима почвы, отражающего потенциальный запас элементов минерального питания, элементный химический состав ассимиляционных органов характеризует интенсивность процессов поглощения элементов из почвы и атмосферы, а также процессов их потери при выщелачивании осадками. Сбалансированное содержание макро- и микроэлементов является необходимым условием для оптимального роста растений (Aerts, Chapin, 1999; Marschner, 2011; Pandey, 2015; Göttlein, 2015).

Ростовые процессы растений также тесно связаны с активностью фотосинтеза, которая обуславливается функционированием пигментного комплекса ассимиляционных органов. Показано, что фотосинтетический аппарат растений высокочувствителен к любым стрессовым факторам, поэтому изменение его структурно-функциональных параметров может служить для раннего диагностирования реакции растений на меняющиеся условия среды (Тужилкина, 2012; Joshi, Swami, 2007; Sharma, Tripathi, 2009; Mandre, Lukjanova, 2011). Поскольку пигменты по своим функциональным свойствам различаются, то их содержание в листьях отражает не только потенциальную фотосинтетическую способность растений, но и характеризует активность защитной системы (Demmig-Adams et al., 2004; Verhoeven et al., 2005).

Под влиянием стрессовых факторов нарушаются также фотохимические процессы, о чем можно судить по результатам исследования параметров флуоресценции хлорофилла (Лысенко и др., 2013; Jedmowski, Brüggemann, 2015; Gameiro et al., 2016; Nazrati et al., 2016). Характер их изменения дает информацию об эффективности функционирования фотосистемы II (ФС 2), отражая способность клеток листа (хвои) улавливать и направлять энергию света в процесс синтеза углеводов (Lazar, 2006; Orekhov et al., 2015). Считается, что определение флуоресценции хлорофилла – достаточно информативный и точный метод оценки структурно-функционального состояния фотосинтетического аппарата растения (Маторин, Алексеев, 2013).

Недостаток современных сведений о связи между нарушением элементного состава ассимиляционных органов древесных растений и изменением состояния их пигментного комплекса в условиях техногенного воздействия

определяет актуальность таких исследований. Для выяснения сопряженности этих процессов в качестве модельного вида нами выбрана лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.). Эта порода, наряду с сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), является лесообразующей на территории Иркутской области, однако данные о ее состоянии в пределах крупных промышленных центров немногочисленны (Шергина, Михайлова, 2006). Необходимость изучения физиолого-биохимических реакций лиственницы на воздействие техногенного загрязнения также связана с противоречивыми данными о ее устойчивости к негативным факторам окружающей среды. Одни авторы считают лиственницу устойчивым, высокопластичным видом, способным хорошо адаптироваться к неблагоприятным условиям среды (Романова, 2005; Муратова и др., 2009), другие, напротив, приводят данные о ее чувствительности к техногенным нагрузкам и рекомендуют использовать в качестве биоиндикатора для оценки экологического состояния загрязняемых территорий, в том числе городских (Кузьмичев, Авдеева, 2007; Абраменко, 2015; Афанасьева, 2018).

Цель данной работы – выявить особенности изменения элементного химического состава и пигментного комплекса хвои лиственницы сибирской при воздействии аэровыбросов алюминиевого производства (на примере ИркаЗа) и выяснить, существует ли сопряженная связь между этими параметрами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Натурные обследования лесов проводились в юго-западной части Иркутской области, на территории рассеивания выбросов ИркаЗа. В соответствии с Международной методикой ICP Forests (Manual..., 2010), в 2020 г. в зонах на расстоянии 0–0.5; 1–5; 6–20; 21–40 и 41–60 км от основного источника загрязнения (завода) в сторону преобладающего атмосферного переноса (юг-юго-восточное направление) было заложено 12 пробных площадей (пп) в древостоях, сходных по возрасту и бонитету (древостой 60–80-летние, III класса бонитета, полнота 0.5–0.6, почвы серые лесные). В каждой зоне удаления от завода располагалось 2 пп. Две фоновых (незагрязненных) пп заложены на расстоянии более 80 км к западу от алюминиевого завода. Площадь каждой пп около 0.01 км². Все они ха-

рактеризуются схожим типом леса – сосняк разнотравный (7С2Л1Б).

Основным объектом исследования служили деревья лиственницы сибирской. На каждой пп конвертным методом было выбрано 3 ключевых участка (ку) размером около 100 м², на которых в середине вегетационного периода, после окончания фазы роста побегов, с помощью секатора срезали 5–7 боковых побегов с южной и юго-восточной сторон от средней части крон 5–60-летних деревьев. Хвою отделяли от побегов, тщательно перемешивали и делили на две части. Хвоя, собранная с одного ку, анализировалась отдельно от других ключевых участков.

Для определения содержания неорганических элементов одну часть отобранной хвои с каждого ку помещали в бумажный крафт-мешок и доставляли в лабораторию, где высушивали в течение 48 ч при 60 °С, затем измельчали до порошка на мельнице и просеивали через сито с диаметром отверстий 0.5 мм. Образцы хранили в бумажных пакетах. Для определения содержания пигментов вторую часть хвои фиксировали в жидком азоте и доставляли в лабораторию института в сосуде Дьюара.

Для исследования параметров флуоресценции хлорофилла на каждом ку с 3–5 деревьев срезали по три ветви и сразу измеряли параметры флуоресценции хлорофилла с помощью импульсного флуориметра PAM2000 (Waltz, Effeltrich, Germany). После прикрепления датчиков к хвое побеги в течение 20 мин подвергались темновой адаптации. Далее производилось измерение показателей флуоресценции хлорофилла на каждом побеге. Регистрировались следующие параметры: F_0 – фоновая флуоресценция, F_m – максимальная флуоресценция, $Y(II)$ – квантовый выход фотосистемы II, NPQ – квантовый выход нефотохимического тушения, ETR – скорость электрон-транспортного потока. а также рассчитывали соотношение F_v/F_m (показатель фотохимической активности фотосистемы II) по формуле $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$.

Для определения концентрации Al, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, S, Sc, Sr, Ti, V, W, Y, Zr высушенную хвою минерализовали в муфельной печи SNOL при 450 °С в течение 3 ч, золу растворяли в 0.1 М азотной кислоте. В полученных растворах содержание элементов определяли атомно-эмиссионным методом на спектрометре SPECTRO ARCOS в аккредитованной лаборатории ГСК ГП «РАЦ» (г. Улан-Удэ, аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511112). Для контроля ана-

литического качества процедур использовались стандартные образцы NCS DC 73350, относительная ошибка метода не превышала 5–10 %.

Содержание N и F определяли спектрофотометрически: N – после мокрого озоления хвои в серной кислоте при 80–120 °C, F – после сухого озоления хвои и дистилляции полученной золы с водяным паром в хлорной кислоте, используя сернокислосеребряное зеркало для удаления примесей хлора.

Изменение питательного статуса деревьев оценивали при помощи индекса биогеохимической трансформации, рассчитываемого по формуле

$$Zbt = \sum_{l=1}^{n1} EF + \sum_{l=1}^{n2} DF - (n1 + n2 - 1),$$

где EF – индекс концентрации; DF – индекс деконцентрации; $n1$ и $n2$ – число элементов с $EF_l > 1.5$ и $DF_l > 1.5$ соответственно. В свою очередь, индекс концентрации вычисляли как отношение C_{pol}/C_b , а индекс деконцентрации – C_b/C_{pol} , где C_{pol} и C_b – концентрации элементов на загрязненных и фоновых территориях соответственно. Коэффициент Zbt является количественным выражением дисбаланса химических элементов в растениях, возникающего в результате техногенной нагрузки. Он имеет пять градаций: минимальную (10–20), среднюю (21–30), высокую (31–40), очень высокую (41–60), чрезвычайно высокую (60–80 и более) (Касимов и др., 2012).

Содержание хлорофиллов a , b и каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом в замороженной хвое после предварительной экстракции 96%-м этанолом (Vernon, 1960). Оптическую плотность измеряли при 665, 649 и 440.5 нм. Расчет пигментов проводили по формулам J. F. Wintermans и A. De Motts (1965). Долю хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК) рассчитывали по формуле (Lichtenthaler, 1987) $(1.2 \text{ хл. } b + \text{хл. } a) / \Sigma (\text{хл. } a + \text{хл. } b)$.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием стандартных методов (Зайцев, 1990) и пакета PAST v3.17. Полученные данные проверяли на нормальность (Shapiro-Wilk's test, $p < 0.05$) и равенство дисперсий (Levene's test). В работе приведены средние значения (M) элементов и параметров пигментного комплекса для двух пп, расположенных в каждой зоне удаления от завода, стандартное отклонение (δ). Различия между несколькими пп оценивали с помощью пакета several-sample tests (ANOVA, Kruskal-Wallis), при значимом результате использовали критерий множествен-

ного сравнения (Tukey's test, $p \leq 0.05$). Достоверность различий параметров флуоресценции хлорофилла оценивали с помощью критерия Манна – Уитни ($p \leq 0.05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке воздействия техногенных эмиссий на элементный состав хвои древесных растений первоочередное значение приобретают исследования на фоновых территориях, где промышленное загрязнение отсутствует. На этих территориях химический состав ассимиляционных органов деревьев отражает региональные особенности их минерального питания, формирующегося под влиянием естественных факторов внешней среды, т. е. представляет собой «точку отсчета», с которой можно сравнивать состояние деревьев, произрастающих в условиях техногенного загрязнения.

Для оценки уровня обеспеченности деревьев биогенными элементами было проведено сравнение их концентраций с оптимальными значениями, установленными для лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) (Göttlein, 2015). Кроме того, концентрации ряда микроэлементов сравнивали с оптимальным диапазоном, установленным для наземных растений (Kabata-Pendias, 2010). Исходя из количественного содержания элементов в хвое, следует, что на фоновых территориях уровень обеспеченности деревьев лиственницы сибирской N, Ca, Mg, P, Mn, Zn, Cu, Cr является оптимальным, S и Co содержится больше, K, Fe – меньше оптимального уровня. Содержание фитотоксичных элементов (F, Al, As, Pb, Ni, V, Ti, Cd) в хвое не превышало средних значений, установленных для наземных растений.

Как показывают многочисленные исследования, в условиях промышленного загрязнения элементный состав ассимиляционных органов деревьев меняется, прежде всего за счет накопления элементов, входящих в состав промышленных выбросов (Tomasevic et al., 2011; Nowak et al., 2014; Mikhailova et al., 2017). Обнаружено, что на обследованной территории содержание в хвое деревьев F, основного компонента эмиссий ИркАЗа, увеличивается в 1.2–2.1 раза (табл. 1). При этом максимальный уровень этого элемента обнаружен в хвое деревьев, произрастающих на территории промышленной зоны (0–0.5 км) завода ($EF = 2.1$). На расстоянии до 5 км от ИркАЗа его содержание в хвое превышало фоновые значения в 1.5 раза, тогда как на осталь-

Таблица 1. Содержание химических элементов (среднее $\pm$ стандартное отклонение, мг/г сухой массы) в хвое *Larix sibirica* и коэффициент биогеохимической трансформации (*Zbt*) на разном удалении от ИркаЗа

Элемент	Расстояние от завода, км					Фоновые значения
	0–0.5	1–5	6–20	21–40	41–60	
N	22405 ^{ab} $\pm$ 228	23811 ^a $\pm$ 426	20432 ^b $\pm$ 244	20624 ^b $\pm$ 145	19381 ^c $\pm$ 242	18242 ^c $\pm$ 478
K	6751 ^{ab} $\pm$ 129	7024 ^a $\pm$ 249	7249 ^a $\pm$ 326	5578 ^b $\pm$ 344	7584 ^a $\pm$ 262	5534 ^b $\pm$ 244
Ca	7189 ^a $\pm$ 162	5058 ^b $\pm$ 193	5538 ^b $\pm$ 133	5295 ^b $\pm$ 172	5088 ^b $\pm$ 136	5089 ^b $\pm$ 181
Si	8224 ^a $\pm$ 186	6198 ^b $\pm$ 118	6151 ^b $\pm$ 148	5800 ^b $\pm$ 126	6118 ^b $\pm$ 174	5060 ^b $\pm$ 110
Mg	3811 ^a $\pm$ 45	2425 ^b $\pm$ 68	2337 ^b $\pm$ 39	2313 ^b $\pm$ 42	2383 ^b $\pm$ 46	2508 ^b $\pm$ 52
P	2415 ^a $\pm$ 28	2532 ^a $\pm$ 68	2410 ^a $\pm$ 62	2281 ^a $\pm$ 74	2212 ^a $\pm$ 62	2285 ^a $\pm$ 84
Mn	634 ^b $\pm$ 22	823 ^a $\pm$ 33	932 ^a $\pm$ 47	918 ^a $\pm$ 32	984 ^a $\pm$ 66	897 ^a $\pm$ 87
S	1105 ^a $\pm$ 93	886 ^{ab} $\pm$ 37	1009 ^a $\pm$ 42	924 ^{ab} $\pm$ 36	777 ^b $\pm$ 63	568 ^c $\pm$ 42
Al	694 ^a $\pm$ 56	331 ^b $\pm$ 28	386 ^b $\pm$ 34	304 ^b $\pm$ 46	234 ^{bc} $\pm$ 25	158 ^c $\pm$ 16
Fe	461 ^a $\pm$ 27	398 ^a $\pm$ 32	267 ^b $\pm$ 18	258 ^b $\pm$ 18	163 ^c $\pm$ 17	89.5 ^d $\pm$ 9.1
Sr	56.4 ^b $\pm$ 7.4	46.1 ^b $\pm$ 5.9	70.7 ^{ab} $\pm$ 8.6	70.3 ^{ab} $\pm$ 3.2	85.4 ^a $\pm$ 6.4	68.5 ^{ab} $\pm$ 3.7
Na	119 ^a $\pm$ 56	66.1 ^b $\pm$ 5.5	69.9 ^b $\pm$ 4.4	60.5 ^c $\pm$ 3.4	58.9 ^c $\pm$ 3.5	48.8 ^c $\pm$ 2.4
Ba	79.1 ^a $\pm$ 1.5	48.6 ^b $\pm$ 5.2	41.5 ^b $\pm$ 3.6	38.8 ^c $\pm$ 3.2	24.6 ^c $\pm$ 1.4	33.5 ^c $\pm$ 3.1
F	47.6 ^a $\pm$ 7.4	34.1 ^b $\pm$ 5.9	27.5 ^{bc} $\pm$ 0.6	24.4 ^c $\pm$ 3.2	23.6 ^c $\pm$ 1.4	22.8 ^c $\pm$ 3.1
Zn	23.1 ^a $\pm$ 0.6	17.2 ^b $\pm$ 0.8	19.2 ^{ab} $\pm$ 0.3	15.8 ^b $\pm$ 0.1	17.1 ^b $\pm$ 0.3	12.9 ^c $\pm$ 0.2
Ti	36.3 ^a $\pm$ 0.3	16.1 ^b $\pm$ 0.4	18.3 ^b $\pm$ 0.2	15.4 ^b $\pm$ 0.1	9.61 ^c $\pm$ 0.01	9.09 ^c $\pm$ 0.01
Cu	4.53 ^a $\pm$ 0.02	4.91 ^a $\pm$ 0.14	4.27 ^a $\pm$ 0.06	4.21 ^a $\pm$ 0.64	3.77 ^a $\pm$ 0.13	4.42 ^a $\pm$ 0.62
Ni	3.34 ^a $\pm$ 0.02	2.08 ^b $\pm$ 0.04	2.33 ^b $\pm$ 0.04	2.72 ^{ab} $\pm$ 0.02	2.23 ^b $\pm$ 0.03	1.47 ^c $\pm$ 0.03
Sc	1.79 ^a $\pm$ 0.02	1.19 ^b $\pm$ 0.01	1.28 ^b $\pm$ 0.01	1.15 ^b $\pm$ 0.01	0.96 ^{bc} $\pm$ 0.01	0.76 ^c $\pm$ 0.01
Cr	1.34 ^a $\pm$ 0.05	1.22 ^a $\pm$ 0.02	0.93 ^b $\pm$ 0.02	0.77 ^c $\pm$ 0.01	0.61 ^c $\pm$ 0.02	0.36 ^d $\pm$ 0.01
As	0.42 ^a $\pm$ 0.01	0.24 ^b $\pm$ 0.01	0.27 ^b $\pm$ 0.01	0.29 ^b $\pm$ 0.01	0.25 ^b $\pm$ 0.01	0.24 ^b $\pm$ 0.01
Sb	0.28 ^a $\pm$ 0.01	0.22 ^c $\pm$ 0.01	0.25 ^b $\pm$ 0.01	0.25 ^b $\pm$ 0.01	0.29 ^a $\pm$ 0.01	0.24 ^b $\pm$ 0.01
V	0.99 ^a $\pm$ 0.01	0.64 ^b $\pm$ 0.01	0.61 ^b $\pm$ 0.01	0.47 ^c $\pm$ 0.01	0.45 ^c $\pm$ 0.01	0.21 ^d $\pm$ 0.01
Co	0.16 ^c $\pm$ 0.01	0.15 ^c $\pm$ 0.01	0.23 ^b $\pm$ 0.01	0.34 ^a $\pm$ 0.01	0.28 ^{ab} $\pm$ 0.01	0.12 ^d $\pm$ 0.01
Pb	0.46 ^a $\pm$ 0.01	0.33 ^b $\pm$ 0.01	0.21 ^c $\pm$ 0.01	0.17 ^c $\pm$ 0.01	0.15 ^c $\pm$ 0.05	0.11 ^d $\pm$ 0.01
La	0.41 ^a $\pm$ 0.01	0.18 ^b $\pm$ 0.01	0.17 ^b $\pm$ 0.01	0.15 ^{bc} $\pm$ 0.01	0.12 ^c $\pm$ 0.05	0.10 ^d $\pm$ 0.01
Mo	0.12 ^a $\pm$ 0.01	0.10 ^a $\pm$ 0.01	0.11 ^a $\pm$ 0.01	0.12 ^a $\pm$ 0.01	0.10 ^a $\pm$ 0.05	0.09 ^a $\pm$ 0.01
Li	0.37 ^a $\pm$ 0.01	0.13 ^b $\pm$ 0.06	0.14 ^b $\pm$ 0.01	0.13 ^b $\pm$ 0.01	0.09 ^{bc} $\pm$ 0.05	0.07 ^c $\pm$ 0.01
Ce	0.67 ^a $\pm$ 0.04	0.17 ^c $\pm$ 0.02	0.25 ^b $\pm$ 0.06	0.25 ^b $\pm$ 0.04	0.11 ^d $\pm$ 0.02	0.05 ^c $\pm$ 3.71
Cd	0.08 ^b $\pm$ 0.01	0.11 ^a $\pm$ 0.01	0.08 ^b $\pm$ 0.01	0.08 ^b $\pm$ 0.01	0.06 ^c $\pm$ 0.01	0.05 ^c $\pm$ 0.01
Y	0.23 ^a $\pm$ 0.01	0.09 ^c $\pm$ 0.01	0.11 ^{bc} $\pm$ 0.01	0.14 ^b $\pm$ 0.01	0.08 ^c $\pm$ 0.01	0.04 ^d $\pm$ 0.01
Be	0.04 ^a $\pm$ 0.01	0.02 ^b $\pm$ 0.01	0.02 ^b $\pm$ 0.01	0.02 ^b $\pm$ 0.01	0.02 ^b $\pm$ 0.01	0.01 ^c $\pm$ 0.01
Zbt	53.1 ^a $\pm$ 4.8	21.9 ^b $\pm$ 4.4	18.5 ^b $\pm$ 3.6	12.9 ^c $\pm$ 3.8	6.1 ^d $\pm$ 0.1	–

Примечание. Разные буквы в одном ряду представляют статистически значимые различия между зонами ($p < 0.05$), где $a > b > c > d > e$.

ной территории находилось в пределах диапазона фоновых значений.

Фтор является одним из наиболее фитотоксичных элементов, обычно его содержание в растениях находится в пределах 5–30 мг/кг сухого вещества, в хвойных породах – 8–20 мг/кг сухого вещества (Rozhkov, Mikhailova, 1993), а фитотоксичность проявляется при концентрации 50–500 мг/кг сухого вещества (Kabata-Pendias, 2010). Накопление высоких концентраций F в ассимиляционных органах растений сопровождается нарушением строения и проницаемости мембран, водного режима и газообмена,

снижением интенсивности фотосинтеза, появлением хлорозов и некрозов (Rozhkov, Mikhailova, 1993). Содержание другого распространенного поллютанта – S – в хвое деревьев на обследованной территории было выше фонового уровня в 1.3–1.9 раза. Наиболее высокие ее концентрации обнаружены в промышленной зоне завода ($EF = 1.9$). По сравнению с фтористыми соединениями загрязнение серосодержащими выбросами охватывает большую территорию – даже на удалении 60 км от ИркаЗа уровень S в хвое деревьев превышал фоновые значения на 36–37 %. Ранее нами было установлено, что при

сильном угнетении деревьев сосны содержание S в хвое превышало фоновые значения в 3–5 раз (Mikhailova et al., 2017).

Несмотря на то что S является важным биогенным элементом, выполняющим структурную (в составе белков, углеводов, липидов и др.) и каталитическую (в активных центрах ферментов) функции, в условиях атмосферного промышленного загрязнения ее соединения (SO_2 , сероводород, метилмеркаптан, диметилсульфид) часто выступают приоритетными загрязнителями, вызывающими серьезные нарушения в метаболизме растений. Как установлено, кислотогенные поллютанты, накапливаясь в клетках, изменяют ионный баланс, способствуют появлению реакций свободнорадикального и фотодинамического окисления, нарушают деятельность многих ферментов, что приводит к подавлению синтеза многих метаболитов, уменьшению содержания хлорофилла, разрушению фотосинтетических структур, снижению интенсивности фотосинтеза, нарушению транспорта органических веществ (Jim, Chen, 2008; Sha et al., 2010; Baciak et al., 2015).

Элементный состав хвои деревьев изменяется и за счет увеличения концентрации «легких металлов»: Al, Li, Ti и Sc, присутствующих в составе так называемого красного шлама, образующегося в процессе получения глиноземов из бокситов и представляющего собой суспензию из оксидов металлов, алюмосиликатов и силикатов (Янин, 2007; Jha et al., 2013). Концентрации этих элементов в хвое деревьев, произрастающих в промышленной зоне завода, превышали фоновый уровень в 2.4–5.3 раза. По мере удаления от завода их содержание в хвое снижается, однако даже на расстоянии 60 км оно остается выше фонового на 10–48 %.

В зоне рассеивания промышленных эмиссий ИркаЗа в хвое отмечается также высокий уровень тяжелых металлов и металлоидов, часто присутствующих в атмосферных выбросах в составе фракции твердого аэрозоля, а также красного шлама. Некоторые из этих элементов необходимы растениям в микроколичествах (Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Co), однако при избыточном накоплении в растительном организме они становятся опасными загрязнителями (прооксидантами), катализирующими процесс образования свободных радикалов и развития окислительного стресса у растений (Hall, 2002; Millaleo et al., 2010).

Наиболее высокие концентрации Be, V, Fe, Y, La, Pb, Cr, Ce и Zn ($EF = 2.0$ – 13.4) отмече-

ны в хвое деревьев в промышленной зоне, где основной вклад в загрязнение твердой аэрозольной фракцией вносят выбросы из азрационных фонарей электролизных корпусов (Куликов, Сторожев, 2012). По мере удаления от завода концентрации этих металлов в хвое деревьев снижались, однако их уровень оставался выше фоновых значений ($EF = 1.3$ – 1.5) даже на удалении 40 км.

Содержание Ba, Si, As, Ni увеличивалось в хвое деревьев, растущих в промышленной зоне ($EF = 1.6$ – 2.4), тогда как на остальной территории их концентрации находились в пределах диапазона фоновых значений. Концентрация Cd в хвое деревьев была выше фоновых значений на большей части обследованной территории ($EF = 1.2$ – 2.2). Известно, что Cd, как правило, входит в состав мелкодисперсного аэрозоля и может долго находиться во взвешенном состоянии и потоками воздуха переноситься на большие расстояния (Воробейчик, Пищулин, 2009).

При анализе данных по содержанию Mn обнаружено снижение его концентрации в хвое деревьев в промышленной зоне ($DF = 1.4$), что может быть связано с проявлением антагонизма между Mn и другими элементами (F, S, Pb, Fe, Cd), которые накапливаются в хвое (Kabata-Pendias, 2010). На остальной территории его содержание было в пределах диапазона фоновых значений.

Один из важных факторов, определяющих нормальный рост и развитие древесных растений, – обеспеченность их органов макроэлементами (N, Ca, K, P, Mg, Na). Отмечено, что в сравнении с фоновыми значениями суммарное содержание макроэлементов в хвое деревьев в промышленной зоне и на расстоянии до 10 км от нее увеличивалось на 17–23 %. Происходило это в основном за счет возрастания концентрации N ($EF = 1.2$ – 1.3), K ($EF = 1.2$ – 1.4), Ca ($EF = 1.2$ – 1.4), Mg ($EF = 1.2$ – 1.5) и Na ($EF = 1.2$ – 2.5). Известно, что последние три элемента часто присутствуют в составе промышленных выбросов, что может быть одной из причин повышения их концентрации. Кроме того, некоторые авторы отмечают, что увеличение концентрации Ca в растительных тканях в неблагоприятных условиях может быть связано с процессами ускоренного физиологического старения, тогда как рост содержания N и K в растениях повышает их сопротивляемость к техногенным выбросам, грибным и микробным заболеваниям, повреждению насекомыми и может рассматриваться как один

из защитных механизмов при стрессовом воздействии (Михайлова и др., 2006; Mandre, 2009; Marschner, 2011). Увеличение концентрации N в хвое деревьев при техногенном загрязнении отмечается довольно часто, при этом, как показали наши исследования, у сосны обыкновенной оно происходит в основном за счет возрастания его небелковой фракции и/или снижения уровня протеинов (Михайлова и др., 2006). С одной стороны, возрастание пула низкомолекулярного N в растительных клетках при неблагоприятных условиях среды может быть обусловлено ростом уровня соединений, обладающих антиоксидантными свойствами, в частности свободных аминокислот (пролин, аргинин), с другой – известно, что при ухудшении состояния растений белки подвергаются распаду, а входящий в них N высвобождается в форме аминокислот, амидов, кетокислот и аммиака. В изменении содержания Р в хвое загрязненной хвои лиственницы сибирской на обследованной территории четко выраженной тенденции не обнаружено.

Расчет индекса биогеохимической трансформации (Zbt) показал, что элементный химический состав хвои лиственницы сибирской резко изменяется в промышленной зоне ($Zbt = 53.1$). Средняя степень трансформации химического состава ($Zbt = 21.9$) обнаружена в хвое деревьев, растущих на расстоянии до 5 км от завода. На остальной территории изменения в элементном составе менее выражены ($EF < 2.0$), а индекс трансформации соответствует минимальному уровню ($Zbt = 6.1–18.5$). Таким образом, полученные данные свидетельствуют о существенных изменениях элементного состава хвои лиственницы сибирской в промышленной зоне ИркАЗа, вместе с тем концентрации основных биогенных элементов (Са и особенно N, К и Р) изменяются в меньшей степени.

При определении содержания фотосинтетических пигментов в хвое деревьев с выраженным дисбалансом элементного состава отмечено уменьшение общего фонда зеленых и желтых пигментов по сравнению с фоновыми пп. При расчете количества пигментов на сырую массу хвои обнаружена тенденция к снижению уровня хлорофилла *a* максимально на 26 %, хлорофилла *b* – на 36 %, каротиноидов – на 25 % по сравнению с фоновыми значениями (рис. 1). Уменьшение концентрации пигментов в хвое может быть связано как с окислением их молекул активными формами кислорода, образование которых инициировано высоким уровнем элементов-поллютантов (Sharma et al., 2009), так и со

структурными изменениями в хвое. Например, сопряженное уменьшение площади мезофилла и концентрации пигментов в хвое сосны обыкновенной обнаружено при воздействии выбросов цементного завода (Mandre, Lukjanova, 2011).

При расчете содержания пигментов на массу хвои одного побега отмечается более резкое уменьшение содержания как хлорофиллов, так и каротиноидов (рис. 1). Так, содержание хлорофилла *a* было снижено максимально на 63 %, хлорофилла *b* – на 69 %, каротиноидов – на 65 % по сравнению с фоновыми значениями. При этом уменьшение количества пигментов при таком расчете во многом обусловлено изменениями морфоструктурных параметров деревьев – сокращением ассимилирующей поверхности за счет снижения длины ауксибластов и числа брахибластов на побегах, а также уменьшения массы самих хвоинок. Для нормальной работы фотосинтетического аппарата важны не только абсолютные значения содержания пигментов, но и их соотношение, которое указывает на взаимодействие реакционных центров фотосистем и светосветособирающего комплекса (ССК) (Тужилкина, 2012, 2021; Mandre, Lukjanova, 2011).

Сравнительная оценка соотношений фотосинтетических пигментов в хвое лиственницы на фоновых и техногенно загрязняемых территориях показала, что различия между зонами не были статистически достоверны. Это может свидетельствовать о наличии компенсаторного механизма адаптации пигментной системы, направленной на поддержание стабильного уровня фотосинтетической активности деревьев в условиях промышленного загрязнения (табл. 2).

Распределение хлорофиллов по фотосинтетическим пулам у загрязняемых деревьев также достоверно не отличалось от фоновых.

О наличии функциональных нарушений фотосинтетического аппарата хвои в условиях техногенного загрязнения свидетельствует изменение некоторых параметров флуоресценции хлорофилла (рис. 2).

На территории рассеивания эмиссий в хвое деревьев обнаружена тенденция к снижению соотношения F_v/F_m максимально на 10 %, скорости электрон-транспортного потока (ETR) – на 38 %, тогда как значения фоновой флуоресценции (F_0) увеличиваются на 22–41 % по сравнению с фоновыми показателями.

Величина F_v/F_m отражает эффективность использования энергии света реакционными центрами фотосистемы II и является одним из

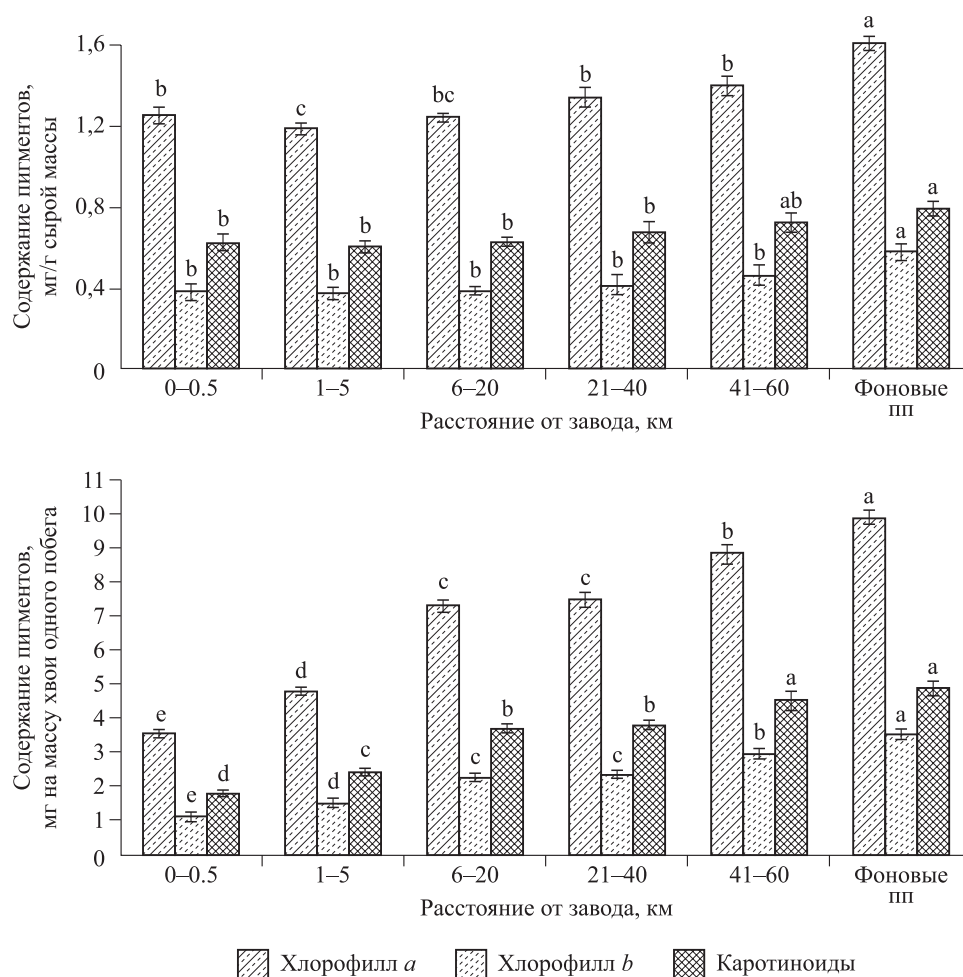


Рис. 1. Среднее содержание пигментов в хвое лиственницы сибирской на разном удалении от ИркАЗа и на фоновых территориях.

Разные буквы в одном ряду представляют статистически значимые различия между зонами ($p < 0.05$), где $a > b > c > d > e$.

основных показателей, характеризующих эффективность первичных процессов фотосинтеза. Поскольку данное соотношение – расчетный параметр, то он определяется значениями параметров F_0 и F_m . На территории рассеивания эмиссий повышение значения F_0 в хвое было определяющим в снижении соотношения F_v/F_m . При исследовании других параметров флуоресценции хлорофилла – квантового выхода фото-

системы II ($Y(II)$) и нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (NPQ) – обнаружена статистически значимая тенденция к снижению этих показателей на техногенно загрязняемых пп. Полученные данные могут также свидетельствовать об ухудшении светопоглощающих свойств фотосинтетического аппарата лиственницы в условиях воздействия эмиссий ИркАЗа.

Таблица 2. Соотношение пигментов в хвое лиственницы сибирской на разном удалении от ИркАЗа и фоновых территориях

Соотношения	Расстояние от завода, км					Фоновые значения
	0–0.5	1–5	6–20	21–40	41–60	
Хл. a / хл. b	3.3 ± 0.4	3.3 ± 0.2	3.2 ± 0.1	3.2 ± 0.2	3.2 ± 0.3	2.8 ± 0.2
$\sum$ (хл. a + хл. b) / каротиноиды	2.5 ± 0.2	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.1	2.6 ± 0.1	2.7 ± 0.2	2.8 ± 0.4
Содержание хлорофиллов в ССК, %	51.5 ± 3.8	51.8 ± 3.2	52.3 ± 4.1	52.6 ± 4.7	54.6 ± 6.8	57.8 ± 4.6

Примечание. Различия между зонами статистически недостоверны.

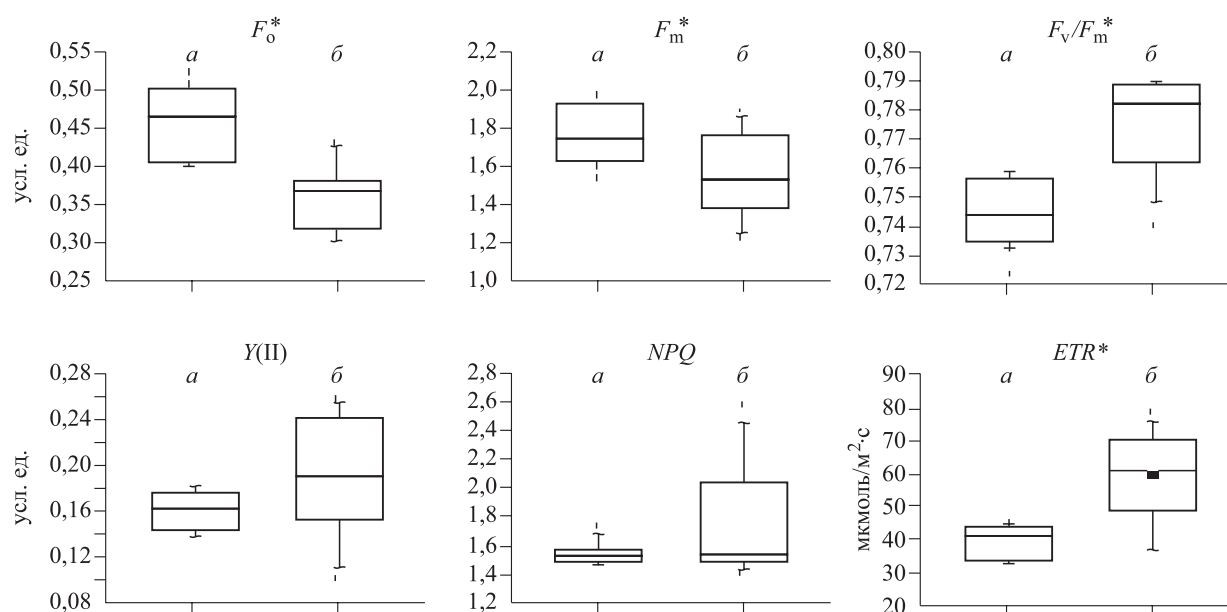


Рис. 2. Параметры флуоресценции хлорофилла хвой лиственницы сибирской на техногенно загрязненных пп (а) (50 деревьев) и фоновых (б) (10 деревьев).

На боксплотах представлены медианы с квантилями, минимальным и максимальным значениями. F_0 – фоновая флуоресценция; F_m – максимальная флуоресценция; F_v/F_m – показатель фотохимической активности фотосистемы II; $Y(II)$ – квантовый выход фотосистемы II; NPQ – квантовый выход нефотохимического тушения; ETR – скорость электрон-транспортного потока. * Различия достоверны при $p \leq 0.05$.

Для оценки сопряженности изменения элементного химического состава и пигментного фонда хвой при воздействии эмиссий ИркаАза использован корреляционный анализ. Исследования, проведенные на фоновой территории, показали, что уровень пигментов в хвое зависит от ее обеспеченности Fe, Co, K, Mg и Cu ($R = 0.61–0.93$, $p = 0.05$). На техногенно загрязненных пп уровень накопления пигментов в

хвое сопряженно уменьшается с увеличением концентрации F, S, Pb, Al, V, Y, Ca, Si, Li, Ni, Zn и Ce ($R = -0.59–0.87$), $p = 0.05$) (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении элементного химического состава хвой лиственницы сибирской на территориях, прилегающих к ИркаАзу, выявлен значительный уровень загрязнения деревьев неорганическими поллютантами. Обнаружено, что содержание F, S, легких металлов (Al, Li, Ti, Sc), тяжелых металлов и металлоидов (As, Ba, Be, Cd, Ce, Co, Cr, Fe, La, Ni, Pb, Si, V, Zn, Y) в хвое деревьев может превышать фоновые значения в 1.2–13.4 раза. Сумма биогенных макроэлементов (N, K, Ca, Mg, P, Na) в загрязненной хвое возрастает на 17–23 %. О разбалансированности элементного состава хвой свидетельствуют индексы биогеохимической трансформации, высокие значения которых обнаружены в промышленной зоне, средние – на расстоянии до 5 км от завода, на остальной территории изменения в элементном составе хвой менее выражены, а индекс трансформации соответствует минимальному уровню.

В хвое загрязняемых деревьев выявлены нарушения в работе фотосинтетического аппарата – снижение содержания хлорофиллов a , b и

Таблица 3. Значимые коэффициенты корреляции между содержанием химических элементов и уровнем пигментов в хвое лиственницы сибирской на территории рассеивания эмиссий ИркаАза ($p = 0.05$; $n = 30$)

Элемент	Хлорофилл a	Хлорофилл b	Каротиноиды
Al	-0.65	-0.66	-0.62
Ca	-0.64	-0.60	-0.61
Ce	-0.76	-0.77	-0.65
Li	-0.65	-0.61	-0.62
Ni	-0.62	-0.59	-0.60
Pb	-0.84	-0.69	-0.87
S	-0.80	-0.74	-0.79
Si	-0.65	-0.59	-0.63
F	-0.83	-0.76	-0.84
V	-0.78	-0.75	-0.76
Y	-0.84	-0.78	-0.83
Zn	-0.63	-0.60	-0.61

каротиноидов, уменьшение показателя фотохимической активности фотосистемы II (F_v/F_m), а также повышение фоновой флуоресценции хлорофилла F_0 по сравнению с фоновыми значениями. О том, что изменения пигментного фонда хвои обусловлены воздействием техногенных эмиссий ИркАЗа, свидетельствуют высокие обратные коэффициенты корреляции между содержанием элементов-поллютантов (F, S, Pb, Al, V, Y, Ca, Si, Li, Ni, Zn, Ce) в хвое и уровнем пигментов в ней ($R = -0.59-0.87$). Таким образом, полученные результаты подтверждают наличие сопряженной связи между дисбалансом элементного состава хвои и перестройками в пигментном аппарате лиственницы сибирской в условиях загрязнения выбросами алюминиевого производства.

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

Авторы выражают благодарность доктору биологических наук, заведующей лабораторией природных и антропогенных экосистем СИФИБР СО РАН Т. А. Михайловой за ценные советы и консультации при подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Абраменко О. В. Использование лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) как биоиндикатора состояния городских насаждений в условиях лесостепной зоны Хакаско-Минусинской котловины // Вестн. КрасГАУ. 2015. № 1. С. 184–188 [Abramenko O. V. Ispol'zovanie listvennitsy sibirskoy (*Larix sibirica* Ledeb.) kak bioindikatora sostoyaniya gorodskikh nasazhdeniy v usloviyakh lesostepnoy zony Hakassko-Minusinskoy kotloviny (The use of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) as the bioindicator of the urban planting state in the conditions of the forest-steppe zone in the Khakass-Minusinsk hollow) // Vestn. KrasGAU (Bull. Krasnoyarsk St. Agr. Univ.). 2015. N. 1. P. 184–188 (in Russian with English abstract)].
- Афанасьева Л. В. Физиолого-биохимическая адаптация лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) к условиям городской среды // Сиб. лесн. журн. 2018. № 3. С. 21–29 [Afanas'eva L. V. Fiziologo-biokhimicheskaya adaptatsiya listvennitsy sibirskoy (*Larix sibirica* Ledeb.) k usloviyam gorodskoy sredy (Physiological-biochemical adaptation of the Siberian larch *Larix sibirica* Ledeb. to urban environments) // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 3. P. 21–29 (in Russian with English abstract)].
- Воробейчик Е. Л., Пищулин П. Г. Влияние отдельных деревьев на pH и содержание тяжелых металлов в лесной подстилке в условиях промышленного загрязнения // Почвоведение. 2009. № 8. С. 927–939 [Vorobeychik E. L., Pishchulin P. G. Vliyaniye otdel'nykh derev'ev na pH i sodержanie tyazhelykh metallov v lesnoy podstilke v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya (Effect of individual trees on the pH and the content of heavy metals in forest litters under industrial contamination) // Pochvovedenie (Soil Sci.). 2009. N. 8. P. 927–939 (in Russian with English abstract)].
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2020 г.». Иркутск: Мерапринт, 2021. 330 с. [Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Irkutskoy oblasti v 2020 g.» (State report «On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2020»). Irkutsk: Megaprint, 2021. 330 p. (in Russian)].
- Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука. 1990. 296 с. [Zaytsev G. N. Matematika v eksperimental'noy botanike (Mathematics in experimental botany). Moscow: Nauka (Science), 1990. 296 p. (in Russian)].
- Касимов Н. С., Битюкова В. Р., Кислов А. В., Кошелева Н. Е., Никуфорова Е. М., Малхазова С. М., Шартова Н. В. Проблемы экогеохимии крупных городов // Охрана и разведка недр. 2012. № 7. С. 8–13 [Kasimov N. S., Bitukova V. R., Kislov A. V., Kosheleva N. E., Nikiforova E. M., Malkhazova S. M., Shartova N. V. Problemy ekogeokhimii krupnykh gorodov (Problems of ecogeochemistry of large cities) // Okhrana i razvedka neдр (Protection and exploration of depths). 2012. N. 7. P. 8–13 (in Russian)].
- Кузьмичев В. В., Авдеева Е. В. Реакция лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на техногенные воздействия городской среды // Хвойные бореальной зоны. 2007. Вып. 24. № 1. С. 36–42 [Kuz'michev V. V., Avdeeva E. V. Reaktsiya listvennitsy sibirskoy (*Larix sibirica* Ledeb.) na tekhnogennyye vozdeystviya gorodskoy sredy (The response of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) to the technogenic impact of the urban environment) // Khvoynyye boreal'noy zony. 2007. Vyp. 24. N. 1. P. 36–42 (in Russian with English abstract)].
- Куликов Б. П., Сторожев Ю. И. Пылегазовые выбросы алюминиевых электролизеров с самообжигающимися анодами. Красноярск: СФУ, 2012. 267 с. [Kulikov B. P., Storozev Yu. I. Pylegazovyye vybrosy alyuminievykh elektrolizerov s samoobzhigayushchimisya anodami (Dust and gas emissions from aluminum electrolyzers with self-baking anodes). Krasnoyarsk: SFU (Sib. Fed. Univ.), 2012. 267 p. (in Russian)].
- Лысенко В. С., Вардуни Т. В., Соьер В. Г., Краснов В. П. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода // Фундамент. иссл. 2013. № 4-1. С. 112–120 [Lysenko V. S., Varduni T. V., Soyev V. G., Krasnov V. P. Fluoresentsiya khlorofilla rasteniy kak pokazatel' ekologicheskogo stressa: teoreticheskie osnovy primeneniya metoda (Chlorophyll fluorescence of plants as an indicator of environmental stress: theoretical basis for the application of the method) // Fundament. issl. (Fundamental studies). 2013. N. 4-1. P. 112–120 (in Russian with English abstract)].
- Маторин Д. Н., Алексеев А. А. Флуоресценция хлорофилла для биоиндикации растений. М.: ПКЦ Альтекс, 2013. 364 с. [Matorin D. N., Alekseev A. A. Fluorestsentsiya khlorofilla dlya bioindikatsii rasteniy (Chlorophyll fluo-

- rescence for plant bioindication). Moscow: PKTs Altex, 2013. 364 p. (in Russian)].
- Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Игнат'ева О. В. Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2006. 134 с. [Mikhaylova T. A., Berezhnaya N. S., Ignat'eva O. V. Elementny sostav khvoi i morfofiziologicheskie parametry sosny obyknovennoy v usloviyakh tekhnogennoho zagryazneniya (Elemental composition of needles and morphophysiological parameters of Scots pine in the conditions of technogenic pollution). Irkutsk: In-t geogr. SO RAN (Inst. Geogr. Sib. Br. Rus. Acad. Sci.), 2006. 134 p. (in Russian)].
- Михайлова Т. А., Калугина О. В., Шергина О. В. Фитомониторинг атмосферного загрязнения в Байкальском регионе // Сиб. экол. журн. 2013. Т. 20. № 5. С. 725–732 [Mikhailova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V. Fitomonitoring atmosfernogo zagryazneniya v Baykal'skom regione (Phytomonitoring of air pollution in the Baikal region) // Sib. ekol. zhurn. (Sib. J. Ecol.). 2013. V. 20. N. 5. P. 725–732 (in Russian with English abstract)].
- 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 [Mikhaylova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V. Dinamika sostoyaniya sosnovykh lesov Predbaykal'ya v usloviyakh vozdeystviya antropogennykh faktorov (The dynamics of pine forests in Prebaikalia under anthropogenic impact) // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2017. N. 1. P. 44–55 (in Russian with English abstract)].
- 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 [Mikhaylova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V. Monitoring tekhnogennoho zagryazneniya i sostoyaniya sosnovykh lesov na primere Irkutskoy oblasti (Monitoring of technogenic pollution and condition of pine forests on the example of Irkutsk Oblast) // Lesovedenie (For. Sci.). 2020. N. 3. P. 265–273 (in Russian with English abstract)].
- Муратова Е. Н., Карпук Т. В., Владимиров О. С., Сизых О. А., Квитко О. В. Цитологическое изучение лиственницы сибирской в антропогенно нарушенных районах г. Красноярск и его окрестностей // Вестн. экол. лесовед. и ландшафтовед. 2009. № 9. С. 99–108 [Muratova E. N., Karpyuk T. V., Vladimirova O. S., Sizykh O. A., Kvitko O. V. Tsitologicheskoe izuchenie listvennitsy sibirskoy v antropogenno narushennykh rayonakh g. Krasnoyarska i ego okrestnostey (Cytological study of Siberian larch in anthropogenically disturbed areas of Krasnoyarsk and its environs) // Vestn. ekol. lesoved. i landschaftoved. (Bull. Ecol. For. Sci. & Landscape Sci.). 2009. N. 9. P. 99–108 (in Russian with English abstract)].
- Романова Л. И. Структурно-функциональные особенности лиственницы сибирской в зеленых насаждениях г. Красноярск и его окрестностей: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 24 с. [Romanova L. I. Strukturno-funktsional'nye osobennosti listvennitsy sibirskoy v zelenykh nasazhdeniyakh g. Krasnoyarska i ego okrestnostey: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.05 (Structural and functional features of Siberian larch in green spaces of Krasnoyarsk and its environs Krasnoyarsk: Cand. biol. sci. (PhD) thesis. Krasnoyarsk: In-t lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN (V. N. Sukachev Inst. For., Rus. Acad. Sci., Sib. Br.), 2005. 24 p. (in Russian)].
- Тужилкина В. В. Пигментный комплекс хвои сосны в лесах Европейского Северо-Востока // Лесоведение. 2012. № 4. С. 16–23 [Tuzhilkina V. V. Pigmentny kompleks khvoi sosny v lesakh Evropeyskogo Severo-Vostoka (Pigment complex of pine in phytocenoses of the European North-East) // Lesovedenie (For. Sci.). 2012. N. 4. P. 16–23 (in Russian with English abstract)].
- Тужилкина В. В. Влияние аэротехногенного загрязнения целлюлозно-бумажного производства на пигментный комплекс сосны обыкновенной // Теор. прикл. экол. 2021. № 1. С. 90–96 [Tuzhilkina V. V. Vliyanie aerotekhnogennoho zagryazneniya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva na pigmentny kompleks sosny obyknovennoy (Effect of aerotechnogenic impact of pulp and paper production on the pigment complex of Scots pine) // Teor. prikl. ekol. (Theor. Appl. Ecol.). 2021. N. 1. P. 90–96 (in Russian with English abstract)].
- Шергина О. В., Михайлова Т. А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутск. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2006. 200 с. [Shergina O. V., Mikhailova T. A. Sostoyanie drevesnykh rasteniy i pochvennogo pokrova parkovykh i lesoparkovykh zon g. Irkutsk (Condition of woody plants and soil cover of park and forest-park zones of Irkutsk). Irkutsk: In-t geogr. SO RAN (Inst. Geogr. Rus. Acad. Sci. Sib. Br.), 2006. 200 p. (in Russian)].
- Янин Е. П. Скандий в окружающей среде (распространенность, техногенные источники, вторичные ресурсы) // Пробл. окруж. среды и природ. ресурсов. 2007. № 8. С. 70–90 [Yanin E. P. Skandiy v okruzhayushchey srede (rasprostranennost', tekhnogennye istochniki, vtorichnye resursy) (Scandium in the environment (prevalence, technogenic sources, secondary resources)) // Probl. okruzh. sredy i prirod. resursov (Probl. Environ. Nar. Res.). 2007. N. 8. P. 70–90 (in Russian)].
- Aerts R., Chapin F. S. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns // Adv. Ecol. Res. 1999. V. 30. P. 1–67.
- Baciak M., Warminski K., Bes A. The effect of selected gaseous air pollutants on woody plants // For. Res. Papers. 2015. V. 76. N. 4. P. 401–409.
- Brougham K. M., Roberts S. R., Davison A. W., Port G. R. The impact of aluminium smelter shut-down on the concentration of fluoride in vegetation and soils // Environ. Pollut. 2013. V. 178. P. 89–96.
- Demmig-Adams B., Adams W., Ebbert V., Logan B. Ecophysiology of the xanthophyll cycle // The photochemistry of carotenoids. Kluwer Acad. Publ., New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2004. P. 245–269.
- Feng Y., Cheng J., Shen J., Sun H. Spatial effects of air pollution on public health in China // Environ. Res. Econ. 2019. V. 73. P. 229–250.
- Gameiro C., Utikin A. B., Cartaxana P., Silva J. M. da, Matos A. R. The use of laser induced chlorophyll fluorescence (LIF) as a fast and non-destructive method to investigate water deficit in Arabidopsis // Agr. Water Manag. 2016. V. 164. P. 127–136.

- Göttlein A. Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche // Allg. Forst- u. J.-Ztg. 2015. N. 186. P. 110–116 (in German).
- Hazrati S., Tahmasebi-Sarvestani Z., Modarres-Sanavy S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli A., Nicola S. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. // Plant Physiol. Biochem. 2016. V. 106. P. 141–148.
- Hall J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance // J. Exp. Bot. 2002. V. 53. Iss. 366. P. 1–11.
- Jedrowski C., Brüggemann W. Imaging of fast chlorophyll fluorescence induction curve (OJIP) parameters, applied in a screening study with wild barley (*Hordeum spontaneum*) genotypes under heat stress // J. Photochem. Photobiol. B: Biol. 2015. V. 151. P. 153–160.
- Jha S. K., Singh R. K., Damodaran T., Mishra V. K., Sharma D. K., Rai D. Fluoride in groundwater: toxicological exposure and remedies // J. Toxicol. Environ. Health. B Crit. Rev. 2013. V. 16. N. 1. P. 52–66.
- Jim C. Y., Chen W. Y. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China) // J. Environ. Manag. 2008. V. 88. N. 4. P. 665–676.
- Joshi P. C., Swami A. Physiological responses of some tree species under roadside automobile pollution stress around city of Haridwar, India // Environ. Systems and Decisions. 2007. V. 27. N. 3. P. 365–374.
- Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th Ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2010. 548 p.
- Lazar D. The polyphasic chlorophyll a fluorescence rise measured under high intensity of exciting light // Funct. Plant Biol. 2006. V. 33. N. 1. P. 9–30.
- Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in Enzymology. 1987. V. 148. P. 350–382.
- Mandre M. Vertical gradients of mineral elements in *Pinus sylvestris* crown in alkalised soil // Environ. Monit. Assess. 2009. V. 159. N. 1–4. P. 111–124.
- Mandre M., Lukjanova A. Biochemical and structural characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in an alkaline environment // Eston. J. Ecol. 2011. V. 60. N. 4. P. 264–283.
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling. Assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests UNECE. ICP Forests Programme Coordinating Centre, 2010. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm/>
- Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. 3rd Ed. Acad. Press., 2011. 672 p.
- Martin S. C., Lariviere C. Community health risk assessment of primary aluminum smelter emissions // J. Occup. Environ. Med. 2014. V. 56. N. 5. S. 33–39.
- Mellert K. H., Göttlein A. Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references // Europ. J. For. Res. 2012. V. 131. N. 5. P. 1461–1472.
- Millaleo R., Reyes-Diaz M., Ivanov A. G., Mora M. L., Alberdi M. Manganese as essential and toxic element for plant: transport, accumulation and resistance mechanisms // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2010. V. 10. N. 4. P. 476–494.
- Mikhailova T. A., Afanasieva L. V., Kalugina O. V., Shergina O. V., Taranenko E. N. Changes in nutrition and pigment complex in pine (*Pinus sylvestris* L.) needles under technogenic pollution in Irkutsk region, Russia // J. For. Res. 2017. V. 6. N. 2. P. 386–392.
- Mikhailova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V. Phytomonitoring of air pollution in the Baikal region // Contemp. Probl. Ecol. 2013. V. 6. N. 5. P. 549–554 (Original Rus. text © T. A. Mikhailova, O. V. Kalugina, O. V. Shergina, 2013, publ. in Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal. 2013. V. 20. N. 5. P. 725–732).
- Nowak D. J., Hirabayashi S., Bodine A., Greenfield E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States // Environ. Pollut. 2014. V. 193. P. 119–129.
- Orekhov D. I., Yakovleva O. V., Goryachev S. N., Protopopov F. F., Alekseev A. A. The use of parameters of chlorophyll a fluorescence induction to evaluate the state of plants under anthropogenic load // Biophysics. 2015. V. 60. N. 2. P. 263–268.
- Pandey R. Mineral nutrition of plants // Plant Biology and Biotechnology / B. Bahadur, M. Venkat Rajam, L. Sahijram, K. Krishnamurthy (Eds.). New Delhi: Springer, 2015. P. 499–538.
- Rozhkov A. S., Mikhailova T. A. The effects of fluorine-containing emissions on conifers. Springer, Berlin, Heidelberg, 1993. 142 p.
- Sardans J., Alonso R., Janssens I. A., Carnicer J., Vessoglou S., Rillig M. C., Fernandez-Martinez M., Sanders T. G. M., Penuelas J. Foliar and soil concentrations and stoichiometry of nitrogen and phosphorous across European *Pinus sylvestris* forests: relationships with climate, N deposition and tree growth // Funct. Ecol. 2016. V. 30. N. 5. P. 676–689.
- Sharma A. P., Tripathi B. D. Biochemical responses in tree foliage exposed to coal-fired power plant emission in seasonally dry tropical environment // Environ. Monit. Assess. 2009. V. 158. N. 16. P. 197–212.
- Sha C., Wang T., Lu J. Relative sensitivity of wetland plants to SO₂ pollution // Wetlands. 2010. V. 30. N. 6. P. 1023–1030.
- Status and dynamics of forests in Germany: results of the National forest monitoring / Wellbrock N., Bolte A. (Eds.). V. 237. Springer Int. Publ., 2019.
- Tomasevic M., Anicic M., Jovanovi M., Peric-Grujic A., Ristic M. Deciduous tree leaves in trace elements biomonitoring: A contribution to methodology // Ecol. indicators. 2011. V. 11. N. 6. P. 1689–1695.
- Vanguelova E. I., Reynolds B., Nisbet T., Godbold D. The cycling of pollutants in nonurban forested environments // Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions / D. F. Levia, D. E. Carlyle-Moses, Tanaka (Eds.). Ecol. Stud. Ser. N. 216. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2011. P. 679–710.
- Verhoeven A. S., Swanberg A., Thao M., Whiteman J. Seasonal changes in leaf antioxidant systems and xanthophyll cycle characteristics in *Taxus media* growing in sun and shade environments // Physiol. Plant. 2005. V. 123. P. 428–434.
- Vernon L. P. Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts // Anal. Chem. 1960. V. 32. N. 9. P. 1144–1150.
- Vorobeichik E. L., Pishchulin P. G. Effect of individual trees on the pH and the content of heavy metals in forest litters under industrial contamination // Euras. Soil Sci. 2009. V. 42. Iss. 8. P. 861–873 (Original Rus. text © E. L. Vorobeichik, P. G. Pishchulin, 2009, publ. in Pochvovedenie. 2009. N. 8. P. 927–939).
- Wintermans I. F., De Mots A. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their pheophytins in ethanol // Biochem. Biophys. Acta. 1965. V. 109. N. 2. P. 448–45.

FEATURES OF ELEMENTAL COMPOSITION AND PIGMENT COMPLEX OF THE SIBERIAN LARCH NEEDLES UNDER IMPACT OF IRKUTSK ALUMINUM SMELTER EMISSIONS

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

¹ Institute of General and Experimental Biology, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Sakhyanova str., 6, Ulan-Ude, 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: afanl@mail.ru, olignat32@inbox.ru, omaria-84@yandex.ru, takhar@mail.ru

The paper presents data on the content of 32 chemical elements in the needles of the Siberian larch *Larix sibirica* Ledeb. trees growing at different distances from the Irkutsk aluminum smelter (IrkAS), as well as in the background areas. It is shown that a pronounced imbalance in the content of elements is observed near the plant in the needles of larch, as evidenced by an increase in the concentration of F by 2.1 times, S by 1.9 times, light metals (Al, Li, Ti, Sc) by 2.4–5.3 times compared to background values. In the group of heavy metals and metalloids, the concentrations of Be, Cd, Ce, Co, Cr, Fe, La, Pb, V, Zn, Y – changed to a greater extent – their increased level in the needles was noted at a distance of up to 40 km from the smelter. The concentrations of Ba, Si, As, Ni increased significantly in the industrial zone, while in the rest of the territory they were within the background values. The amount of biogenic macroelements (N, K, Ca, Mg, P, Na) in the contaminated needles increased by 17–23 %. The imbalance in the elemental composition of needles is evidenced by the indices of biogeochemical transformation, the high values of which were found in the industrial zone, the average values – at a distance of up to 5 km from the smelter, in the rest of the territory changes in the elemental composition of needles are less pronounced, and the transformation index corresponds to the minimum level. Disturbances in the work of the photosynthetic apparatus of the needles of contaminated trees are manifested in a decrease in the content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids, *Fv/Fm*, while the background fluorescence of chlorophyll *F₀*, increases compared to background values. Revealed inverse correlations between the content of S, F, as well as a number of heavy metals in needles and the level of pigments in it ($R = -0.59 - 0.87$) indicate a significant effect of emissions on the pigment complex of trees, especially in the industrial zone of the smelter and at a distance of up to 5 km from it.

Keywords: *Larix sibirica* Ledeb., needles, elemental chemical composition, chlorophylls, carotenoids, chlorophyll fluorescence, technogenic emissions.

How to cite: Afanas'eva L. V., Kalugina O. V., Oskorbina M. V., Kharpukhaeva T. M. Features of elemental composition and pigment complex of the Siberian larch needles under impact of Irkutsk aluminum smelter emissions // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 1. P. 20–32 (in Russian with English abstract and references).

УДК 57.054: [57.032+58.018] 674.032.16

ВЗАИМОСВЯЗИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСЛОСЛОЯ ЗАБОЛОНИ СТВОЛА У ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВЕРХОВОГО БОЛОТА

С. А. Шавнин¹, Д. Ю. Голиков¹, А. А. Монтиле¹, А. В. Капралов², А. В. Григорьева²

¹ Ботанический сад УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

² Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

E-mail: sash@botgard.uran.ru, mit2704@gmail.com, org17@mail.ru,
capralovav@m.usfeu.ru, grigorievaav@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 16.09.2021 г.

В настоящей работе определено наличие и изучен характер связей асимметрии строения корневой системы с закручиванием ствола дерева, а также между морфологическими характеристиками латеральных корней первого порядка, ствола и косослоя заболони на примере деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих в естественном насаждении в экстремальных для данного вида гидротермических условиях верхового болота (Средний Урал, Россия). Для этого у двух групп деревьев VI класса возраста, не имеющих и имеющих внешние признаки косослоя, измеряли диаметр ствола без коры у шейки корня и на расстоянии 1.3 м от нее; высоту; угол наклона древесных волокон и длину косослойной части ствола, а также высоту, на которой она начинается; число латеральных корней первого порядка, их периметры и углы между ними. Для анализа строения корневой системы использовали показатели ее асимметрии по расположению в пространстве, а также по характеристикам радиального роста, которые рассчитывали как средние для данного дерева пропорции различия углов между отдельными корнями либо периметров корней и среднего значения соответственно. Установлены различия вариабельности морфологических характеристик корней и характера их взаимосвязей у закрученных и незакрученных деревьев. Оценка взаимосвязей отдельных характеристик позволила выявить пять различий между двумя изучаемыми группами по наличию статистически значимых корреляций ($R = 0.34–0.52$). Косослой ствола возникает в процессе роста дерева, и его образование обусловлено не строением системы корней первого порядка, а относительно малым количеством латеральных корней и низкой пространственной асимметрией корневой системы. Существуют положительные корреляции между его длиной и характеристиками роста корней, включая максимальную толщину корня и асимметрию периметров корней.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., закручивание ствола дерева, косослой, асимметрия корневой системы.

DOI: 10.15372/SJFS20220103

ВВЕДЕНИЕ

Изучение закономерностей морфогенеза надземных частей и корневых систем древесных растений и влияния внешних факторов на рост и развитие деревьев в древостое – одно из актуальных направлений в лесоведении (Blaise et al., 2000). Оно связано, в том числе, с поиском новых технологических подходов к повышению каче-

ства древесины и управлению морфогенезом с целью получения деревьев с хозяйственно ценными признаками. Известно, что у ели ситхинской (*Picea sitchensis* (Bong.) Carrière) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Douglas ex Loudon) скелетные корни закладываются в возрасте до 10 лет (Coutts, 1983). Форма и пространственное распределение корней древесных растений регулируются генетически (Nicoll et al., 1995)

и зависят от влияния факторов среды (Coutts et al., 2000; Судачкова и др., 2005), в том числе от действия водного стресса. Особенности строения корневых систем (КС) растущих на болоте деревьев являются отсутствие центрального и развитие латеральных корней (Тюкавина, Евдокимов, 2016). При этом сохраняется их механическая (опорная) функция и возрастает роль водно-транспортной. Выполнение этих функций взаимосвязано с ростом корней, на который оказывают значительное влияние ветровые нагрузки и наклон ствола (Richter et al., 2009; Danjon et al., 2013).

Существуют сведения о том, что архитектура КС определяет прямоствольность деревьев (Coutts, 1983; Balneaves, De la Mare, 1989; Stokes et al., 1996; Stokes, Mattheck, 1996). В популяциях сосны приморской (*Pinus pinaster* Aiton) у деревьев с незакрученными стволами наблюдалась более высокая вариабельность показателей биомассы и структурных характеристик КС (Garrido et al., 2015). Этот факт объясняется адаптивной реакцией на механический стресс в форме усиления неравномерности пространственного развития КС, более выраженной у прямоствольных деревьев. Косослой заболони (Кос) представляет собой спиральное расположение волокон в растущем дереве, которое возникает в результате деления камбиальных клеток косорадиальными перегородками (Боровиков, Уголев, 1989) и проявляется на морфологическом уровне в виде закрутки и изгибов ствола. Он возникает в процессе роста дерева в результате действия экологических факторов и связанных с гравитацией сил. Вместе с тем существуют сведения о генетическом контроле признака закрученности ствола (Alia et al., 1995), наличие которого объясняет, по-видимому, широкую встречаемость спиральных структур в заболони деревьев разных видов (Harris, 1989; Richter, 2015).

Образование Кос связывают с балансом пери- и антиклинальных делений клеток камбия в процессе закладки тканей ксилемы и влиянием на него дополнительных факторов, механизм действия которых не установлен (Mellerowicz et al., 2001). Следует отметить, что пространственная неоднородность увлажнения ствола приводит к возникновению в древесине продольных (Fournier et al., 1994) и тангенциальных относительно оси ствола (Zimmermann, 1983) механических напряжений в наружных слоях заболони. При этом известно о спиральном характере движения влаги в заболони деревьев сосны обыкновенной (Кайбияйнен, Хари, 1985),

варьировании скоростей сокодвижения по периметру ствола, которое возрастает с его высотой (Cermak, Kucera, 1990). У хвойных пород вертикальный транспорт воды в заболони ствола пространственно неравномерен. При этом наблюдается прямая связь между отдельными участками корневой системы и кроны (Matthes et al., 2002; Nadezdina, Cermak, 2003; Nadezdina, 2010). Поверхностные корни главным образом соединены с наружными слоями заболони, тогда как глубокие корни снабжают ее равномерно и максимум водного потока в стволе у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) наблюдается на глубине 15 мм от слоя камбия (Nadezdina, Cermak, 2000). К числу ключевых факторов, действие которых изменяет направление движения влаги в стволе, относится эмболия водопроводящих элементов, возникающая в результате засухи и замерзания-оттаивания тканей, а также дефолиации, обрыва корней и механических нарушений (Venturas et al., 2017). Описанные анатомо-физиологические особенности камбиального роста и переноса влаги в дереве непосредственно связаны, по-видимому, с явлением поворота внешних слоев ксилемы вокруг вертикальной оси в течение вегетационного периода (Шавнин и др., 2018; Shavnin et al., 2018).

Анализ сведений о взаимосвязи КС и Кос позволяет заключить, что непосредственно на ее существование указывает повышенная вариабельность строения КС у незакрученных деревьев. При этом прямых связей отдельных морфологических характеристик КС и Кос до настоящего времени не установлено. Более детальное изучение этого вопроса позволит получить дополнительные сведения о роли КС в возникновении закрутки ствола и о причинах этого явления. В связи с этим при планировании настоящего исследования было выдвинуто три рабочие гипотезы: 1) морфологические характеристики и степень асимметрии КС различаются у имеющих и не имеющих Кос заболони деревьев сосны обыкновенной; 2) существуют различия взаимосвязей характеристик КС у незакрученных и закрученных деревьев; 3) существуют взаимосвязи между отдельными характеристиками КС и Кос ствола. Основные цели работы связаны с проверкой этих гипотез и заключаются в определении наличия и изучении характера связей асимметрии строения КС с закручиванием ствола дерева, а также между морфологическими характеристиками латеральных корней первого порядка, ствола и Кос заболони на примере деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в

естественном насаждении в экстремальных для данного вида гидротермических условиях верхового болота на Среднем Урале.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории гидролесомелиоративного стационара «Северный», заложенного в 1987 и 1988 гг. на территории Северского и Паркового лесничеств (Уральский учебно-опытный лесхоз Уральского государственного лесотехнического университета, пос. Северка, Свердловская область, РФ). Стационар расположен на сфагновом болоте и имеет площадь около 120 га. Объект осушен системой открытых каналов с расстоянием между ними 64–200 м (Чиндяев, 2008). Торфяная залежь представлена сфагновым и фускум-торфом со степенью разложения в верхнем метровом слое 20–65 %. Мощность торфяника составляет 1.5–7.0 м. Торф характеризуется очень кислой реакцией почвенного раствора (рН 3.0–4.4). Среднее количество осадков за год в районе исследований (метеопост «Северка») составляет 536 мм и колеблется от 213 до 695 мм, среднегодовая температура воздуха составляет 1.2 °С, а в среднем за вегетацию 12.9 °С. Наибольшие колебания температуры наблюдаются в период начала апикального роста сосны обыкновенной в мае (коэффициент вариации $CV = 30$ %). Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 86 дней.

Для проведения исследований в 2019 г. выбран участок прямоугольной формы длиной 50 и шириной 20 м (Парковое лесничество, квартал 1, выдел 24). В 1988 г. на участке произрастал чистый по составу сосновый древостой со следующими таксационными характеристиками: тип леса – сосняк багульниковый, средний диаметр 14.6 см, средняя высота 13.0 м, VI класс возраста, относительная полнота 1.13, бонитет – Va, густота 2015 шт./га; запас 215 м³/га. Участок сильно захламлен выпавшими (100 %) в результате подземного пожара в 2010 г. деревьями сосны обыкновенной. У всех деревьев обнажены корни, отслоилась кора и наблюдается интенсивное разложение древесины бурой гнилью. Исходя из задач исследований, для измерений отбирали выпавшие деревья, близкие к модальным по высоте и диаметру, без коры на высоте 1.3 м. Изучали две группы деревьев – без внешних признаков Кос (32 дерева) и с наличием Кос (38 деревьев). Размеры выборок соответствуют требованиям к статистической обработке данных.

Строение КС изучали с учетом центра масс всех латеральных корней (Coutts et al., 1990). При этом «центральной осью» считали линию, проходящую вдоль ствола через центр радиальных ростовых колец ствола на уровне земли (Henderson et al., 1983). Углы расхождения корней измеряли в перпендикулярной центральной оси ствола плоскости с учетом расположения точки прохождения центральной оси. Для измерений использовали транспортир, оснащенный двумя планками длиной 1 м (точность $\pm 2.5^\circ$). Первую планку располагали параллельно одному из латеральных скелетных корней первого порядка, а вторую – параллельно соседнему корню.

Угол наклона древесных волокон Кос ствола оценивали по тангенсу угла прямоугольного треугольника ($\text{tg } \alpha$), наибольший катет которого имеет длину 1 м и параллелен центральной оси ствола дерева. Длину противолежащего измеряемому углу катета определяли по отклонению волокон Кос от центральной оси на расстоянии 1 м от начала Кос. Диаметры ствола без коры у шейки корня ($D_{\text{шк}}$) и на расстоянии 1.3 м от нее ($D_{1.3}$) измеряли мерной вилкой (точность 0.5 см), а высоты (H), длины косослойной части ствола (L) и высоты, на которой она начинается (h), – с помощью рулетки (точность 1.0 см). Возраст деревьев на момент гибели определяли по спилам у шейки корня (Шиятов и др., 2000) с использованием метода перекрестной датировки (Rinn, 1996). В связи со сложной формой поперечного сечения корней и отсутствием корней второго порядка, для характеристики их радиального роста измеряли периметры основания корней первого порядка на расстоянии 5 см от периферической части корневой лапы (точность 0.5 см), число корней первого порядка, отходящих непосредственно от шейки корня (N_k). При анализе данных использовали также следующие характеристики: сумму периметров поперечных сечений всех корней (P_Σ); максимальный периметр корня из всех измеренных (P_{max}); сумму углов между корнями (φ_Σ) вычисляли по формуле разности между 360° и значениями максимального угла между корнями.

При оценке асимметрии КС использовали показатель асимметрии расположения корней (АРК), отражающий среднее различие углов между корнями данного дерева и соответствующего среднего угла, который определяли следующим образом: 1) вычисляли средний угол как частное от деления 360° на число углов между корнями; 2) определяли отношение показателей

конкретного измеренного угла и среднего угла; 3) находили модуль разности этого отношения и единицы (пропорция отличия); 4) суммирование пропорций различия всех углов между корнями одного дерева; 5) вычисляли АРК путем деления суммы пропорций различия на число углов. Таким образом, АРК является средней пропорцией различия углов между корнями и среднего значения для дерева. Для оценки АРК по аналогичной схеме вычисляли показатель асимметрии периметров корней (АПК), который является средней для данного дерева пропорцией различия периметров корней и среднего значения.

При статистическом анализе результатов рассчитывали показатели среднего и вариации морфологических признаков КС и косослоя ствола, для сравнения выборок использовали *t*-критерий Стьюдента, применяли корреляционный, регрессионный анализы, которые были проведены в стандартном статистическом пакете Statistica 8.0 (StatSoft Inc., 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ приведенных результатов исследований морфометрических характеристик стволов и КС деревьев без косослоя и с косослоем (группы 1 и 2 соответственно) с помощью *t*-критерия не выявил статистически значимых (на уровне $p < 0.05$) различий групп по рассматриваемым признакам (табл. 1).

Следует отметить, что у деревьев группы 2 участок косослоя начинается на высоте 1–2 м, т. е. в возрасте более 10 лет, и не прерывается до вершины ствола. При этом с момента образования Кос угол наклона волокон древесины не изменяется и составляет у разных деревьев от 1.14 до 11.31° ($\text{tg } \alpha = 0.02$ и 0.2 соответственно).

В результате анализа взаимосвязей морфометрических характеристик, проведенного для общей выборки (группы деревьев 1 и 2), установлено наличие линейной зависимости между диаметром шейки корня и суммой периметров корней ($R^2 = 0.638$). Этот факт указывает на наличие прямой связи площадей проводящих тканей корней и системы транспорта воды в стволе, которая описывается «пайп-моделью» (Shinozaki et al., 1964a, b) (рис. 1).

Согласно пайп-модели, площадь поперечного сечения проводящих элементов дерева на конкретной высоте является постоянной величиной на всем протяжении от шейки корня до листьев (Shinozaki et al., 1964a, b). При этом у хвойных видов существует сложная связь между

Таблица 1. Морфометрические характеристики деревьев без косослоя и с косослоем (группы 1 и 2 соответственно)

Морфологические характеристики	<i>M</i>	σ	<i>m</i>
Группа 1 (32 дерева)			
<i>H</i> , м	13.74	1.20	0.21
<i>D</i> _{1.3} , см	21.56	3.38	0.60
<i>D</i> _{шк} , см	29.21	4.58	0.81
<i>N</i> _к , шт.	4.91	1.15	0.20
<i>P</i> _Σ , см	318.03	59.94	10.60
Φ_{Σ} , град	235.47	31.79	5.62
<i>P</i> _{max} , см	85.53	14.16	2.50
АРК, отн. ед.	0.38	0.15	0.026
АПК, отн. ед.	0.24	0.10	0.018
Группа 2 (38 деревьев)			
<i>H</i> , м	13.76	1.55	0.25
<i>D</i> _{1.3} , см	21.28	3.75	0.61
<i>D</i> _{шк} , см	29.02	4.72	0.77
<i>N</i> _к , шт.	4.53	0.86	0.14
<i>P</i> _Σ , см	301.6	66.18	10.74
Φ_{Σ} , град	238.8	20.22	3.28
<i>P</i> _{max} , см	84.34	14.87	2.41
АРК, отн. ед.	0.33	0.13	0.021
АПК, отн. ед.	0.23	0.083	0.013
$\text{tg } \alpha$	0.073	0.044	0.007
<i>L</i> , м	12.57	2.38	0.39
<i>h</i> , м	1.19	1.54	0.011

Примечание. *M* – среднее значение; σ – среднее квадратическое отклонение; *m* – стандартная ошибка.

механическими и гидравлическими свойствами древесины в области шейки корня (Lehnebach et al., 2018).

Анализ АРК у деревьев групп 1 и 2 при их расположении в порядке возрастания этого показателя выявил, что при его значении менее 0.25 явных различий между группами не наблюдается, однако если оно более 0.25, то у деревьев группы 1 значения АРК выше, чем группы 2 (рис. 2).

Статистическое сравнение данных с помощью *t*-критерия, проведенное после исключения из выборок обеих групп данных о деревьях, имеющих АРК менее 0.25, показало, что АРК и *N*_к у деревьев в группе 1 значимо выше, чем в группе 2 ($p < 0.05$). Аналогичной закономерности для значений показателя АПК не установлено, т. е. различий асимметрии радиального роста корней у незакрученных и закрученных деревьев не наблюдается. Результаты сравнительного анализа АРК и *N*_к (с учетом использованного ограничения) подтверждают правильность гипотезы 1

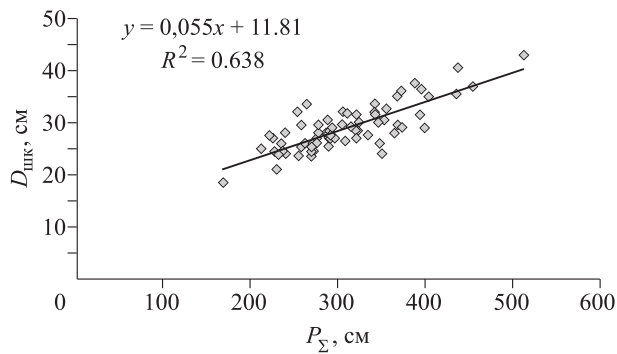


Рис. 1. Зависимость диаметра шейки корня ($D_{шк}$) от суммы периметров корней (P_{Σ}) двух групп деревьев.

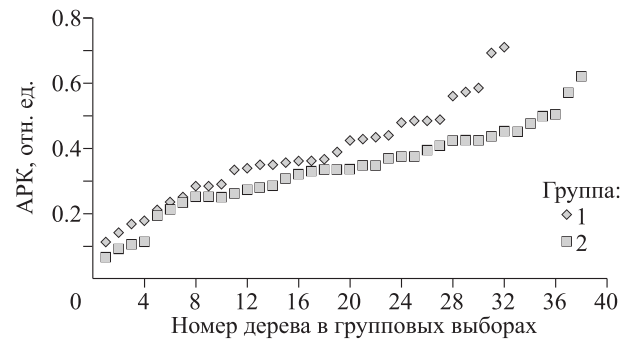


Рис. 2. АРК системы корней деревьев с незакрученным (группа 1) и закрученным (группа 2) стволом в выборках, упорядоченных по значениям АРК.

о различии КС в группах 1 и 2 и согласуются с данными о более высокой вариабельности характеристик строения КС у незакрученных деревьев (Garrido et al., 2015).

Оценка взаимосвязей отдельных характеристик строения КС и их связей с характеристиками Кос ствола у групп 1 и 2 проведена на основании результатов корреляционного анализа (табл. 2, 3). Она позволила выявить пять разли-

чий между этими группами по наличию статистически значимых корреляций отдельных характеристик (значения R составляют 0,34–0,52).

Например, у деревьев в группе 2 N_k коррелирует с $D_{шк}$ ($R = 0,45$, $p = 0,005$) и не коррелирует в группе 1. Аналогичные отличия выявлены также для связей $P_{max} - N_k$, $P_{\Sigma} - P_{max}$, $D_{шк} - АПК$ и $АПК - АРК$. Установленные особенности корреляций подтверждают правильность гипотезы 2

Таблица 2. Данные корреляционного анализа морфометрических характеристик корневых систем и косослоя ствола незакрученных деревьев

Показатель	P_{Σ}	P_{max}	N_k	φ_{Σ}	φ_{max}	$D_{шк}$	АРК	АПК
P_{Σ}	1.00	0.26	0.60*	0.45*	-0.45*	0.61*	0.17	0.24
P_{max}	0.26	1.00	-0.52*	-0.33	0.33	0.53*	-0.08	0.56*
N_k	0.60*	-0.52*	1.00	0.56*	-0.56*	0.05	0.31	-0.21
φ_{Σ}	0.45*	-0.33	0.56*	1.00	-1.00*	0.16	-0.46*	-0.14
φ_{max}	-0.45*	0.33	-0.56*	-1.00*	1.00	-0.16	0.46*	0.14
$D_{шк}$	0.61*	0.53*	0.05	0.16	-0.16	1.00	-0.06	0.47*
АРК	0.17	-0.08	0.31	-0.46*	0.46*	-0.06	1.00	-0.08
АПК	0.24	0.56	-0.21	-0.14	0.14	0.47	-0.08	1.00

* Отмечены корреляции, значимые на уровне 0.05.

Таблица 3. Данные корреляционного анализа морфометрических характеристик корневых систем и косослоя ствола закрученных деревьев

Показатель	P_{Σ}	P_{max}	N_k	φ_{Σ}	φ_{max}	L	h	$D_{шк}$	АРК	$\lg \alpha$	АПК
P_{Σ}	1.00	0.45*	0.66*	0.43*	-0.43*	0.01	0.16	0.86*	0.04	-0.19	0.01
P_{max}	0.45*	1.00	-0.25	-0.14	0.14	0.32*	0.00	0.47*	0.15	-0.09	0.52*
N_k	0.66*	-0.25	1.00	0.61*	-0.61*	-0.13	0.09	0.45*	-0.05	-0.08	-0.23
φ_{Σ}	0.43*	-0.14	0.61*	1.00	-1.00*	-0.15	0.21	0.26	-0.48*	0.13	-0.31
φ_{max}	-0.43*	0.14	-0.61*	-1.00*	1.00	0.15	-0.21	-0.26	0.48*	-0.13	0.31
L	0.01	0.32*	-0.13	-0.15	0.15	1.00	-0.76*	0.08	0.28	-0.10	0.42*
h	0.16	0.00	0.09	0.21	-0.21	-0.76*	1.00	0.09	-0.25	-0.12	-0.26
$D_{шк}$	0.86*	0.47*	0.45*	0.26	-0.26	0.08	0.09	1.00	0.02	-0.08	0.06
АРК	0.04	0.15	-0.05	-0.48*	0.48*	0.28	-0.25	0.02	1.00	0.00	0.34*
$\lg \alpha$	-0.19	-0.09	-0.08	0.13	-0.13	-0.10	-0.12	-0.08	0.00	1.00	0.02
АПК	0.01	0.52*	-0.23	-0.31	0.31	0.42*	-0.26	0.06	0.34*	0.02	1.00

о существовании различий взаимосвязей характеристик КС в группах 1 и 2. Остальные статистически значимые корреляции наблюдаются в обеих группах деревьев, что объясняется наличием очевидных взаимосвязей характеристик корней с $D_{\text{шк}}$ и взаимозависимостью отдельных анализируемых переменных, включая АРК и АПК.

Корреляционный анализ взаимосвязей характеристик строения Кос и КС показал, что $\text{tg } \alpha$ (табл. 3) не коррелирует ни с одним из изучавшихся морфологических показателей. Отсутствие корреляций объясняется постоянством угла наклона Кос после его возникновения и указывает на существование в растущей части заболони фактора, стабилизирующего закрутку ствола в ходе роста дерева. При этом L взаимосвязан с P_{max} и АПК ($R = 0.323$, $p = 0.048$ и $R = 0.42$, $p = 0.009$ соответственно). Наличие этих корреляций указывает на взаимосвязь процессов формирования Кос и роста корней, что непосредственно подтверждает правильность гипотезы 3. Отсутствие корреляции L с АРК, объясняется тем, что образование корней первого порядка происходит в первые годы жизни, после чего их число и пространственное расположение не изменяются (Coutts, 1983). Последующий рост и изменение формы латеральных корней определяются ежегодными радиальными приростами, которые зависят от ветровых нагрузок (Richter et al., 2009; Danjon et al., 2013) и влияния других факторов, включая обеспеченность деревьев водой. Существование связи пространственной анизотропии восходящих потоков воды с функционированием КС установлено в результате исследований изменений распределения водных потоков в стволе, кроне и корнях ряда видов древесных после удаления отдельных ветвей с помощью метода оценки деформации теплового поля (Nadezdina, Cermak, 2003; Nadezdina, 2010). Полученные данные позволили авторам сделать вывод о наличии направленности транспорта влаги от конкретных корней в определенные участки ствола.

Совокупность изложенных выше сведений и результатов анализа полученных данных позволяет предположить, что система корней первого порядка у закрученных деревьев сосны обыкновенной, растущих в условиях болота, наряду с обеспечением механической устойчивости ствола участвует в компенсации изменений в наружных слоях ксилемы, связанных с возникновением Кос.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. В экстремальных гидротермических условиях верхового болота вариабельность характеристик системы латеральных корней первого порядка и характер их статистических взаимосвязей у закрученных и незакрученных деревьев сосны обыкновенной различаются.

2. Кос ствола возникает в процессе роста дерева и его образование не зависит непосредственно от строения системы корней первого порядка, что указывает на отсутствие явной каузальной связи между ними. При этом появлению Кос способствуют (повышают вероятность образования) относительно малое количество латеральных корней и низкая пространственная асимметрия КС. Выяснение причин данных закономерностей связано с установлением механизмов возникновения Кос, которое требует дополнительных исследований.

3. Существуют положительные корреляции между длиной косослоя ствола и характеристиками роста латеральных корней первого порядка деревьев, включая максимальную толщину корня и асимметрию периметров структурных корней. Эти взаимосвязи возникают, по-видимому, в результате закручивания ствола и являются проявлением процессов морфофизиологической адаптации деревьев к действию факторов среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине / под ред. Б. Н. Уголева. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с. [Borovikov A. M., Ugolev B. N. Spravochnik po drevesine (Timber handbook) / B. N. Ugolev (Ed.). Moscow: Lesn. prom-st (Timber Industr.), 1989. 296 p. (in Russian)].
- Кайбияйнен Л. К., Харн П. Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. I. Пути движения влаги в ксилеме // Лесоведение. 1985. № 5. С. 23–28 [Kaybiyaynen L. K., Khari P. Sbalansirovannost' sistemy vodnogo transporta u sosny obyknovennoy. I. Puti dvizheniya vlagi v ksileme (The balance of water transport system in Scots pine. I. Moisture paths in xylem) // Lesovedenie (For. Sci.). 1985. N. 5. P. 23–28 (in Russian with English abstract)].
- Судачкова Н. Е., Милютин И. Л., Романова Л. И., Семёнова Г. П. Влияние низкой температуры почвы на морфогенез вегетативных органов *Pinus sylvestris* (Pinaceae) // Бот. журн. 2005. Т. 90. № 9. С. 1436–1444 [Sudachkova N. E., Milyutina I. L., Romanova L. I.,

- Semenova G. P. Vliyaniye nizkoy temperatury pochvy na morfogenez vegetativnykh organov *Pinus sylvestris* (Pinaceae) (Influence of low soil temperature on the morphogenesis of vegetative organs *Pinus sylvestris* (Pinaceae)) // Bot. zhurn. (Bot. J.). 2005. V. 90. N. 9. P. 1436–1444 (in Russian with English abstract)].
- Тюкавина О. Н., Евдокимов В. Н. Корневая система сосны обыкновенной в условиях северотаежной зоны // ИВУЗ. Лесн. журн. 2016. № 1. С. 55–65 [Tyukavina O. N., Evdokimov V. N. Kornevaya sistema sosny obyknovennoy v usloviyakh severotazhnoy zony (Root system of Scots pine in the north taiga zone) // IVUZ. Lesn. zhurn. (For. J.). 2016. N. 1. P. 55–65 (in Russian with English abstract)].
- Чиндяев А. С. Гидролесомелиоративные стационары в Уральском учебно-опытном лесхозе УГЛУТУ. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2008. 80 с. [Chindyaev A. S. Gidrolesomeliativnye statsionary v Uralskom uchebno-opytном leskhoze UGLTU (Hydroforestry platforms in the Ural educational and experimental forestry department of the Ural State Forest Engineering University). Yekaterinburg: UGLTU (Ural St. For. Engineer. Univ.), 2008. 80 p. (in Russian)].
- Шавнин С. А., Овчинников И. С., Голиков Д. Ю., Монтиле А. А., Галако В. А., Власенко В. Э. Явление поворота ствола в процессе роста у древесных растений (на примере *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ldb.) // Сиб. экол. журн. 2018. Т. 25. № 1. С. 89–97 [Shavnin S. A., Ovchinnikov I. S., Golikov D. Yu., Montile A. A., Galako V. A., Vlasenko V. E. Yavlenie povorota stvola v protsesse rosta u drevesnykh rasteniy (na primere *Pinus sylvestris* L. i *Picea obovata* Ldb.) (Phenomenon of tree stem rotation during growth process of woody plants (based on the example of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ldb.)) // Sib. Ecol. J. 2018. V. 25. N. 1. P. 72–78 (in Russian with English abstract)].
- Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурызбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-метод. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с. [Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirdeyanov A. V., Kruglov V. B., Mazepa V. S., Naurzbaev M. M., Khantemirov R. M. Metody dendrokhnologii. Chast' I. Osnovy dendrokhnologii. Sbor i poluchenie drevesno-koltsevoy informatsii: ucheb.-metod. posobie (Dendrochronology methods. Part I. Fundamentals of dendrochronology. Collecting and obtaining tree-ring information: tutorial). Krasnoyarsk: KrasGU (Krasnoyarsk St. Univ.), 2000. 80 p. (in Russian)].
- Alia R., Gil L., Pardos J. A. Performance of 43 *Pinus pinaster* Ait. provenances on 5 locations in Central Spain // Silvae Gen. 1995. V. 44. Iss. 2–3. P. 75–81.
- Balneaves J. M., De la Mare P. J. Root patterns of *Pinus radiata* on five ripping treatments in a Canterbury forest // New Zealand J. For. Sci. 1989. V. 19. N. 1. P. 29–40.
- Blaise F., Fourcand T., Stokes A., Reffye P. de. A model simulating interactions between plant shoot and root architecture in non-homogeneous environment // The supporting roots of trees and woody plants: Form, function and physiology / A. Stokes (Ed.). Netherlands: Kluwer Acad. Publ., 2000. P. 195–207.
- Cermak J., Kucera J. Scaling up transpiration data between trees, stands and watersheds // Silva Karelica. 1990. Iss. 15. P. 101–120.
- Coutts M. P. Root architecture and tree stability // Plant & Soil. 1983. V. 71. Iss. 1–3. P. 171–188.
- Coutts M. P., Nielsen C. C., Nicoll B. C. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers // The supporting roots of trees and woody plants: Form, function and physiology / A. Stokes (Ed.). Netherlands: Kluwer Acad. Publ., 2000. P. 3–17.
- Coutts M. P., Walker C., Burnand A. C. Effects of establishment method on root form of lodgepole pine and Sitka spruce and on the production of adventitious roots // Forestry. 1990. V. 63. Iss. 2. P. 143–159.
- Danjon F., Khuder H., Stokes A. Deep phenotyping of coarse root architecture in *R. pseudoacacia* reveals that tree root system plasticity is confined within its architectural model // PLoS One. 2013. V. 8. Iss. 12. e83548.
- Fournier M., Baillères H., Chanson B. Tree biomechanics: growth, cumulative prestresses and reorientations // Biomimetics. 1994. V. 2. N. 3. P. 229–251.
- Garrido F., Martin R. S., Lario F. J., Sierra-de-Grado R. Root structure and biomass partitioning in tilted plants from twisted- and straight-stemmed populations of *Pinus pinaster* Ait. // Trees. 2015. V. 29. Iss. 3. P. 759–774.
- Harris J. M. Spiral grain and wave phenomena in wood formation. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1989. 215 p.
- Henderson R., Ford E. D., Renshaw E., Deans J. D. Morphology of the structural root system of Sitka spruce. I. Analysis and quantitative description // Forestry. 1983. V. 56. Iss. 2. P. 121–135.
- Lehnebach R., Beyer R., Letort V., Heuret P. The pipe model theory half a century on: a review // Ann. Bot. 2018. V. 121. Iss. 5. P. 773–795.
- Matthes U., Kelly P. E., Ryan C. E., Larson D. W. The formation and possible ecological function of stem strips in *Thuja occidentalis* // Int. J. Plant Sci. 2002. V. 163. N. 6. P. 949–958.
- Mellerowicz E. J., Baucher M., Sundberg B., Boerjan W. Unraveling cell wall formation in the woody dicot stem // Plant Mol. Biol. 2001. V. 47. Iss. 1. P. 239–274.
- Nadezdina N. Integration of water transport pathways in a maple tree: responses of sap flow to branch severing // Ann. For. Sci. 2010. V. 67. Iss. 1. P. 107.
- Nadezdina N., Cermak J. Responses of sap flow rate along tree stem and coarse root radii to changes of water supply // The supporting roots of trees and woody plants: Form, function and physiology. Developments in plant and soil sciences / A. Stokes (Ed.). V. 87. Springer, Dordrecht, 2000. P. 227–238.
- Nadezdina N., Cermak J. Instrumental methods for studies of structure and function of root systems in large trees // J. Exp. Bot. 2003. V. 54. Iss. 387. P. 1511–1521.
- Nicoll B. C., Easton E. P., Milner A. D., Walker C., Coutts M. P. Wind stability factors in tree selection: distribution of biomass within root systems of Sitka spruce clones // Wind and Trees / M. P. Coutts, J. Grace (Eds.). Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1995. P. 276–292.
- Richter Ch. Wood characteristics: description, causes, prevention, impact on use and technological adaptation. Basel: Springer Int. Publ., 2015. 222 p.

- Richter G. L., Monshausen G. B., Krol A., Gilroy S. Mechanical stimuli modulate lateral root organogenesis // *Plant Physiol.* 2009. V. 151. N. 4. P. 1855–1866.
- Rinn F. TSAP version 3.5. Reference manual. Computer program for tree ring analysis and presentation. Heidelberg, 1996.
- Shavnin S. A., Ovchinnikov I. S., Golikov D. Yu., Montile A. A., Galako V. A., Vlasenko V. E. Phenomenon of trunk twist during the growth of woody plants (using the example of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ldb.) // *Contemp. Probl. Ecol.* 2018. V. 11. N. 1. P. 72–78 (Original Rus. text © S. A. Shavnin, I. S. Ovchinnikov, D. Yu. Golikov, A. A. Montile, V. A. Galako, V. E. Vlasenko, 2018, publ. in *Sib. Ekol. Zhurn.* 2018. N. 1. P. 89–97).
- Shinozaki K., Yoda K., Hozumi K., Kira T. A quantitative analysis of plant form: the pipe model theory. I. Basic analyses // *Jap. J. Ecol.* 1964a. V. 14. Iss. 3. P. 97–105.
- Shinozaki K., Yoda K., Hozumi K., Kira T. A quantitative analysis of plant form: the pipe model theory. II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology // *Jap. J. Ecol.* 1964b. V. 14. Iss. 4. P. 133–139.
- StatSoft Inc., 2007. <https://www.statistica.com/en/>
- Stokes A., Ball J., Fitter A. H., Brain P. Coutts M. P. An experimental investigation of the resistance of model root systems to uprooting // *Ann. Bot.* 1996. V. 78. Iss. 4. P. 415–421.
- Stokes A., Mattheck C. Variation of wood strength in tree roots // *J. Exp. Bot.* 1996. V. 47. N. 5. P. 693–699.
- Venturas M. D., Sperry J. S., Hacke U. G. Plant xylem hydraulics: What we understand, current research, and future challenges // *J. Integrat. Plant Biol.* 2017. V. 59. N. 6. P. 356–389.
- Zimmermann M. H. Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1983. 146 p.

RELATIONSHIPS BETWEEN MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ROOTS AND STEM SAPWOOD TWISTED LAYER OF SCOTS PINE TREES GROWING IN THE UPPER BOG

S. A. Shavnin¹, D. Yu. Golikov¹, A. A. Montile¹, A. V. Kapralov², A. V. Grigor'eva²

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

² *Ural State Forest Engineering University
Sibirskiy tract, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation*

E-mail: sash@botgard.uran.ru, mit2704@gmail.com, org17@mail.ru,
capralovav@m.usfeu.ru, grigorievaav@m.usfeu.ru

The main objectives of the work are: to determine the presence and to assess the nature of relationship between the asymmetry of root system structure and the twisting of tree trunk; to study the nature of relationship between the morphological characteristics of the first order lateral roots, of the trunk and of the layer of sapwood for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees growing under the extreme hydrothermal conditions in the upper bog (Middle Urals, Russia). In two groups of trees (twisted and non-twisted) of the VI class of age (32 and 38 trees in each respectively), there were measured: trunk diameters without of bark at the root collar layer and at the distance of 1.3 m from it; the heights; the angles of inclination of wood fibers; the length of the twisted part of trunk and the height at which it begins; the number of lateral roots of the first order and the perimeters and the angles between them. In the analysis of the structure of root system there were used the indices of its asymmetry in terms of the location in space and of the radial growth. Values of indices were calculated for each tree as the average proportions of the difference between either the angles among individual roots or perimeters of roots from the average value. It was found that the variability of morphological characteristics of roots and the nature of their relationships differ in twisted and non-twisted trees. The evaluation of relationships between individual characteristics made it possible to identify 5 differences between two studied groups in the presence of statistically significant correlations ($R = 0.34–0.52$). The twisting of the trunk arises during the growth of tree and is not directly dependent from the structure of the root system. The appearance of the twisted layer is facilitated by a relatively small number of lateral roots and low spatial asymmetry of the root system. There are positive correlations between trunk twisted layer length and root growth characteristics, including maximum root thickness and asymmetry in root perimeters.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., tree stem twisting, twisted layer, root system asymmetry.

How to cite: Shavnin S. A., Golikov D. Yu., Montile A. A., Kapralov A. V., Grigor'eva A. V. Relationships between morphological characteristics of roots and stem sapwood twisted layer of Scots pine trees growing in the upper bog // *Sibirskiy Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 1. P. 33–40 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630*232.3

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВОГО ПРЕПАРАТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

С. В. Горбунова, А. О. Сеньков, Д. Х. Файзулин

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства
163062, Архангельск, ул. Никитова, 13

E-mail: svetlana.bobushkina@sevniilh-arh.ru, senkov@sevniilh-arh.ru, forestry@sevniilh-arh.ru

Поступила в редакцию 03.09.2021 г.

Для своевременного снабжения лесопользователей качественным посадочным материалом по приемлемой стоимости в сельском хозяйстве широко применяются экологически безопасные стимуляторы роста – гуматы. Целью настоящего исследования стало изучение степени стимулирующего действия гуминового препарата на рост и развитие сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой. В процессе работы проанализировано влияние растворов различных концентраций гуминового препарата «Экорост» в качестве подкормок на рост сеянцев сосны (*Pinus* L.) и ели (*Picea* A. Dietr.) в контейнерах в лесопитомнике Архангельской области в течение 2 лет. Кроме того, рассмотрен вопрос действия препарата на семена ели европейской при подготовке их к посеву. Полученные результаты подтвердили возможность и перспективность применения гуминового вещества при производстве посадочного материала хвойных пород. При поливах сеянцев сосны и ели в течение сезона раствором препарата в концентрации 10 мл на 10 л воды выход стандартных растений для Двинско-Вычегодского лесного района увеличился на 36.9 и 34.6 % соответственно, в опытных вариантах возросла масса сеянцев по сравнению с контролем, проявилась более высокая устойчивость кома субстрата. При замачивании семян ели перед посевом энергия прорастания увеличилась на 10.0–13.0 % по сравнению с контролем, всхожесть – на 9.3–12.3 %, продолжительность прорастания семян сократилась с 8 до 6 дней. Учитывая положительный эффект гуминового препарата на сеянцы сосны и ели, следует продолжить исследования в области применения таких стимуляторов для лесовыращивания.

Ключевые слова: посадочный материал с закрытой корневой системой (ПМЗК), гуматы, стимуляторы, сеянцы, ель европейская (*Picea abies* (L.) H. Karst.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

DOI: 10.15372/SJFS20220104

ВВЕДЕНИЕ

В России все большей популярностью пользуется посадочный материал с закрытой корневой (ПМЗК) системой, обладающий рядом преимуществ перед традиционными сеянцами. Но, как известно, затраты на его производство значительно выше, чем на выращивание сеянцев с оголенной корневой системой. В связи с этим требуется разработать эффективные приемы снижения расходов на выращивание ПМЗК без потери качества. В современных экологиче-

ских условиях при производстве посадочного материала одним из таких приемов может стать использование природных стимуляторов роста.

Исследованиями доказано, что такие вещества ускоряют прорастание семян, увеличивают всхожесть, положительно влияют на развитие наземной части и корневой системы сеянцев, повышают приживаемость при пересадке и способствуют лучшему выживанию в экстремальных условиях (Пентелькина, 2003; Хамитов, 2006; Андреева и др., 2016; Фроленкова, Волкович, 2016; Кабанова и др., 2017; Kabanova et al.,

2020). Отмечено, что экономические выгоды от использования стимуляторов роста многократно превышают затраты на их приобретение (Неганова, 2011).

В настоящее время существует большое количество различных препаратов с ростостимулирующим действием, но предпочтение отдают экологически безопасным. К таким стимуляторам относятся гуматы (Немков, Грехова, 2015; Андреева и др., 2016; Наими, 2018; Левченкова, 2020; Ghatas et al., 2021).

Во всем мире наблюдается повышенный интерес к гуминовым веществам, получившим широкое применение в сельском хозяйстве (Якименко, Терехова, 2011; Yakimenko, Terekhova, 2011; Nardi et al., 2016; Левченкова, 2020; Ben Mrid et al., 2021; и др.) Имеются данные об опыте применения их для детоксикации и рекультивации почв, загрязненных различными поллютантами (Степанов и др., 2018). Исследователями установлено стимулирующее действие гуминовых соединений на рост и развитие растений, повышение их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды, кроме того, такие препараты улучшают структуру и плодородие почвы, а также влияют на поглощение питательных веществ и структуру корней (Trevisan et al., 2010; Неганова, 2011).

Гуматы – биопродукты, которые являются солями гуминовых кислот. В природных условиях они образуются в результате гумификации, гидролиза и жизнедеятельности микроорганизмов почвы. Гуматы представляют особую группу экологически чистых универсальных регуляторов роста растений и стрессовых адаптогенов. Они стимулируют выработку самим растением естественных регуляторов роста (фитогормонов) и активизируют их функциональную деятельность, поддерживая ее на оптимально высоком уровне (Экорост, 2021).

Ограниченное использование указанных веществ при выращивании посадочного материала хвойных пород обусловлено низкой информированностью производителей, а также недостатком исследований в этом направлении. Отмечено, что любые биологически активные вещества, регуляторы роста требуют осторожного обращения с ними. Передозировка этих соединений опасна: можно не только не получить ожидаемого эффекта, но и столкнуться с прямо противоположным результатом (Соркина и др., 2010; Устинова, Зуров, 2010; Неганова, 2011), поэтому велика значимость исследований в этом направлении.

Актуальность темы также подтверждается необходимостью ускоренного выращивания качественного посадочного материала с закрытой корневой системой. В связи с введенными в 2018–2019 гг. требованиями нормативно-правовой базы по увеличению доли искусственного лесовосстановления с использованием растений с комом субстрата, потребность в таком посадочном материале заметно возрастает. Объем выращивания сеянцев на имеющихся инфраструктурных объектах не соответствует производственной потребности (Распоряжение..., 2021).

Цель настоящей работы – изучить степень стимулирующего действия гуминового препарата на рост и развитие сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой.

Новизна исследований заключается в том, что впервые на Европейском Севере испытан гуминовый препарат для стимулирования роста сеянцев сосны (*Pinus* L.) и ели (*Picea* A. Dietr.) в контейнерах.

Практическая значимость состоит в возможности подобрать необходимые дозы и концентрации растворов гуминового вещества с последующей рекомендацией использования их в тепличных комплексах региона для стимулирования роста сеянцев хвойных пород и получения качественного стандартного посадочного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследования – сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.), выращиваемые в контейнерах. Исследования проводились в лесопитомнике Архангельской области.

Испытывали препарат «Экорост» (2021) на основе гуминовых кислот, который, как отмечают производители, применяется в качестве удобрения для корневых и внекорневых подкормок, замачивания семян, при укоренении черенков. Препарат увеличивает всхожесть семян, приживаемость лукович, черенков и растений после пересадки, обеспечивает мощную корневую систему, увеличивает урожайность, повышает сопротивляемость растений грибковым и бактериальным заболеваниям.

Состав препарата: азот – 2.8 г/л, фосфор – 0.02 г/л, калий – 5.91 г/л, гуминовые кислоты – не менее 30 г/л; микроэлементы: медь, цинк, марганец, железо, селен.

В нашей работе гуминовый препарат использовался в качестве корневой подкормки сеянцев ели и сосны, а также для замачивания семян ели европейской перед посевом. Остальные агротехнические приемы (поливы, удобрения, прополки, определения химических элементов почв и т. п.) выполнялись по принятой в питомнике технологии (Методические указания..., 1985; ГОСТ 26483-85..., 1985; ГОСТ 27784-88..., 1988; ГОСТ Р 54650-2011..., 2019).

Число обработанных сеянцев для обеспечения необходимой точности опыта (в пределах 5 %) составило около 240 шт. для каждого варианта ели, 360 шт. для каждого варианта сосны.

Изучение действия препарата на основе гуминовой кислоты «Экорост» на семена проводили непосредственно в лабораторных условиях в разных вариантах. Часть семян перед раскладкой для проращивания замачивали на 12, 20 и 24 ч в концентрации 1 мл/л воды. Другую часть семян проращивали в растворах различной концентрации: 0.5; 1.0; 1.5 мл/л, постоянно добавляя вместо воды по мере необходимости. Для каждого варианта использовали четыре пробы по 100 семян. В качестве контроля послужили необработанные препаратом семена, намоченные в воде.

В исследованиях по использованию различных концентраций препарата и влиянию его на растения в качестве подкормок в условиях питомника, определяли биометрические параметры сеянцев, массу хвои, стволика и корней в абсолютно-сухом состоянии, а также оценивали развитие корневой системы и устойчивость кома субстрата при выемке сеянцев из кассет весовым методом.

Устойчивость кома субстрата определялась в трех вариантах: 1 – выемка сеянца из кассеты, 2 – имитация перевозки путем одного падения растения с комом с высоты 70 см, 3 – более жесткая имитация путем трех падений. Устойчивость кома субстрата определялась как отношение массы субстрата, оставшегося на корнях, к общей массе субстрата в ячейке, выраженное в процентах.

В связи с тем что выращенные сеянцы могут использоваться в двух таежных районах РФ, устанавливали долю выхода стандартного посадочного материала для северо-таежного лесного района Европейской части РФ (высота не менее 10 см, диаметр не менее 2 мм (Приказ..., 2020) и Двинско-Вычегодского лесного района (высота не менее 12 см, диаметр не менее 2 мм (Приказ..., 2020).

Для определения содержания сухого вещества сеянцев корни отделяли от субстрата, отмывали. Сеянцы делили на хвою, ствол, мелкие и крупные корни и сушили в сушильном шкафу (Тип 2В-151) при температуре 105 °С до постоянной массы и взвешивали с точностью до 0,001 г на весах МЛ 0.2-II ВЖА «Ньютон 1». Расчет проводился по формуле

$$DMC = \frac{Weight_{dry}}{Weight_{fresh}} \times 100,$$

где DMC – содержание сухого вещества, %; $Weight_{dry}$ – масса в абсолютно сухом состоянии, г; $Weight_{fresh}$ – масса живого сеянца, г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Испытание гуминового препарата в качестве стимулятора для подготовки семян к посеву. Для оценки качества посевного материала использованы семена ели европейской, заготовленные в декабре 2018 г. Внешне семена (цвет, запах, отсутствие плесени) соответствовали предъявляемым требованиям. Масса 1000 шт. семян составила 6.18 г.

Действие препарата оценивали по энергии прорастания на 10-е сутки и по всхожести на 15-е сутки. Наблюдалось изменение. Энергия прорастания изменялась от 6.2 до 13.0 % по сравнению с контрольными показателями, всхожесть – от 7.3 до 12.3 %. Наилучший эффект стимуляции проявился при замачивании семян в течение 12 и 24 ч. Энергия прорастания в среднем увеличилась на 10.0 и 13.0 % по сравнению с контролем, а всхожесть – на 9.3 и 12.3 % соответственно (табл. 1).

В. В. Сахнов (2007) отмечал, что замачивание семян при любой концентрации должно быть не более 12 ч, считая такую продолжительность наиболее эффективной.

При более длительном замачивании препарат оказывает угнетающее действие на всхожесть. Данный факт нашими исследованиями не подтвердился.

Проращивание семян в растворах разной концентрации тоже показало увеличение энергии прорастания на 4–7 %, а всхожести – на 3–6.5 %. Лучше всего семена прорастали в растворе при концентрации препарата 0,5 мл на 1 л воды (табл. 2).

Данные ежедневного учета всхожести показали, что основная масса жизнеспособных семян проросла на 7–8-й день. Продолжительность прорастания семян ели в контроле со-

Таблица 1. Результаты проращивания семян ели в лабораторных условиях, %

Вариант опыта	Семена		
	проросшие	непроросшие	загнившие
Обработанные семена в растворе 1 мл/1 л воды, в течение, ч:			
12	77.8	19.7	2.5
20	75.8	20.0	4.2
24	80.8	16.3	3.0
Пророщенные семена в растворах разной концентрации, мл/л воды:			
0.5	75.0	21.0	4.0
1.0	73.5	21.0	5.5
1.5	71.5	23.3	5.2
0 (контроль)	68.5	25.2	6.3

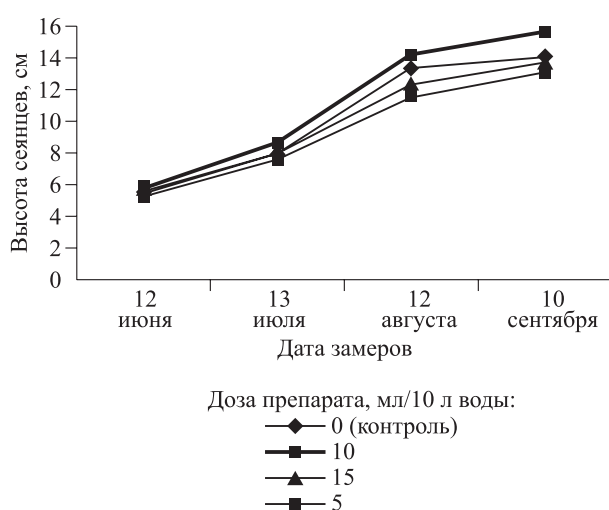
Таблица 2. Проращивание семян ели по дням наблюдения

Вариант опыта	Количество проросших семян ели (%) по дням наблюдения				Продолжительность прорастания семян, дней
	5	7	10	15	
Обработанные семена в растворе 1 мл/1 л воды в течение, ч:					
12	18.2	57.2	77.0	77.8	7.4
20	12.8	54.2	73.2	75.8	7.7
24	41.8	70.3	80.0	80.8	6.4
Пророщенные семена в растворах разной концентрации, мл/л воды:					
0,5	20.5	59.5	74.0	75.0	7.1
1,0	4.8	51.0	71.0	73.5	7.9
1,5	5.0	42.5	67.0	71.5	8.4
0 (контроль)	5.5	43.2	67.0	68.5	8.1

ставила 8 дней. При предпосевной обработке «Экоростом» наблюдалось ее сокращение. Наилучший результат показал вариант с замачиванием семян в течение 24 ч (продолжительность прорастания – 6 дней).

Испытание гуминового препарата в качестве удобрения посевов ели. В питомнике при использовании двухротационной схемы выращивания посадочного материала первый посев (семян ели) проводится в начале апреля, в июне кассеты с сеянцами выносят на открытую площадку для доращивания, а в теплицу устанавливают контейнеры с посевами сосны, которые находятся там до сентября.

Сеянцы ели, находившиеся на площадке доращивания с 9 июня, в течение сезона с периодом около 3 нед поливали растворами препарата «Экорост» в дозах 5, 10 и 15 мл/10 л воды с расходом 1.5 л на кассету. В 2019 г. проведено четыре обработки. Динамику изменения высоты сеянцев демонстрирует рис. 1.

**Рис. 1.** Динамика роста сеянцев ели с подкормкой препаратом «Экорост» в различных дозах в лесопитомнике в 2019 г.

Лучшие биометрические показатели получены в варианте с использованием 10 мл препарата на 10 л воды (табл. 3).

Таблица 3. Биометрические параметры сеянцев ели и выход стандартного посадочного материала (10 сентября 2019 г.)

Доза препарата, мл/10 л воды	Высота, см	Диаметр, мм	Выход стандартных сеянцев, %		
			по высоте, см		по диаметру, ≥ 2 мм
			≥ 10	≥ 12	
0	14.0 ± 0.23	2.2 ± 0.05	92.5	70.3	72.5
5	13.0 ± 0.19	2.0 ± 0.04	87.6	66.4	56.8
10	15.5 ± 0.24	2.3 ± 0.04	94.6	84.2	80.0
15	13.6 ± 0.19	2.1 ± 0.04	91.1	73.4	68.4

Таблица 4. Абсолютно сухая масса сеянцев ели и их частей по вариантам опытов (в расчете на 1 сеянец) в лесопитомнике на II декаду сентября 2019 г., г (%)

Доза препарата, мл/10 л воды	Хвоя	Тонкие корни	Главный корень	Ствол	Сеянец	М. н. ч./м. т. к.
10	0.497 (39.3)	0.228 (18.0)	0.133 (10.5)	0.408 (32.3)	1.266 (100)	4.0
0 (контроль)	0.432 (39.8)	0.224 (20.7)	0.111 (10.2)	0.318 (29.3)	1.086 (100)	3.3

Примечание. М. н. ч./м. т. к. – отношение массы надземной части сеянцев к массе тонких корней.

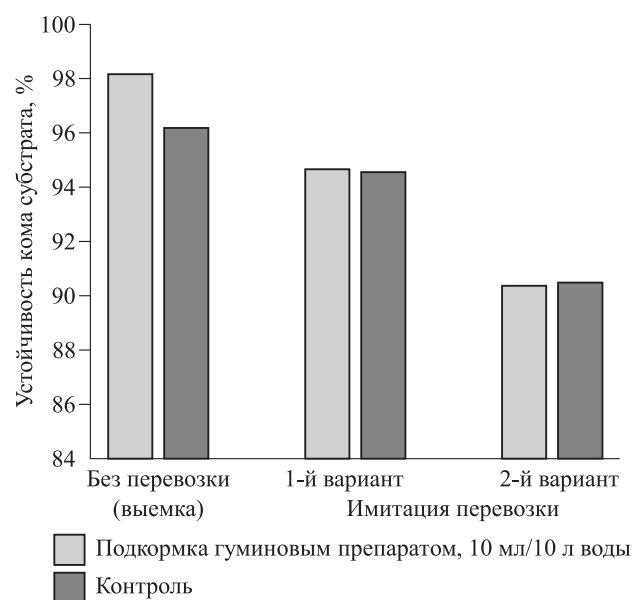
По высоте они превышают контрольный вариант на 10.7 %, различие достоверно ($t_{st} = 4.5$), по диаметру – на 4.5 % (различие недостоверно $t_{st} = 1.5$). Кроме того, наибольший выход стандартного посадочного материала по высоте (84.2 %) и диаметру (80 %) также наблюдался в этом варианте.

Удобрение растений препаратом «Экорост» в дозах 5 и 15 мл на 10 л воды не проявило положительного влияния. При поливе препаратом в дозе 5 мл средняя высота сеянцев оказалась меньше контрольных на 7.1 % с достоверным различием.

Установлено, что при подкормке гуминовым препаратом у сеянцев ели увеличилась масса всех частей по сравнению с контролем, за исключением тонких корней, за счет чего отношение массы надземной части к массе физиологически активных корней в контроле меньше (табл. 4), но в целом в обоих вариантах – в пределах оптимального. Средняя масса сеянца в варианте с подкормкой на 14.2 % превысила массу сеянца в контроле.

На рис. 2 показана более высокая устойчивость кома субстрата в варианте с подкормкой препаратом «Экорост».

Различие невелико, вероятно, в связи с тем, что сеянцы ели первой ротации на обоих вариантах уже имели хорошо развитую густую мочковатую корневую систему, которая полностью скрепила субстрат в ячейке. В опыте 2020 г. посе́вы ели обрабатывали гуминовым препаратом

**Рис. 2.** Устойчивость кома субстрата сеянцев ели в теплице лесопитомника с учетом подкормки гуминовым препаратом (по данным на II декаду сентября 2019 г.).

с тем же расходом и концентрацией, начиная с 15 мая (когда сеянцы еще были в теплице) по 8 августа с периодичностью 2–3 нед, всего 5 раз.

В отличие от результатов предыдущего года, растения на всех вариантах с использованием гуминового препарата превзошли сеянцы по высоте в контроле на 12.0–17.1 % с достоверным различием ($t_{st} = 4.3$ –7.3) (рис. 3).

По диаметру различие достигает 7.3 %, но оно не доказано ($t_{st} = 1.8$ –2.8) (табл. 5).

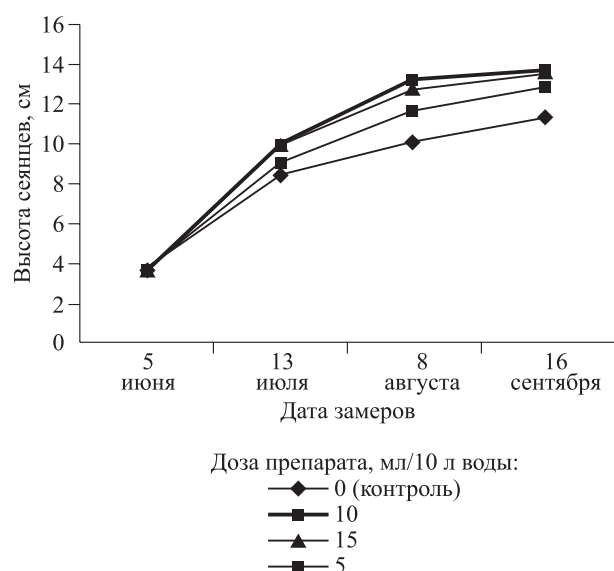


Рис. 3. Динамика роста сеянцев ели в вариантах с подкормкой препаратом «Экорост» в различных дозах в лесопитомнике в 2020 г.

Устойчивость кома в контроле и с использованием гуминового препарата в дозе 10 мл/10 л воды составила 90.6 и 94.5 % соответственно, что свидетельствует о положительном влиянии препарата на качество посадочного материала с закрытой корневой системой, как и в предыдущем году.

Выход стандартного посадочного материала в посевах 2020 г. свидетельствует о наибольшем влиянии на рост сеянцев в высоту концентрации 10 и 15 мл на 10 л воды (табл. 6).

Таким образом, более раннее начало серии обработок гуминовым препаратом сеянцев ели, соответственно с увеличением их количества, дает более значительный эффект.

Испытание гуминового препарата в качестве удобрения посевов сосны. В 2019 г. при удобрении сеянцев сосны в теплице «Экорост» использовали в тех же дозах, что и для ели. С периодом около 3 нед в течение сезона проведено три обработки, последняя – 8 августа. Результаты замеров представлены в табл. 7.

Таблица 5. Параметры сеянцев ели в вариантах с использованием гуминового препарата «Экорост» в качестве подкормки в разных дозах (16 сентября 2020 г.)

Доза препарата, мл/10 л воды	Высота, см			Диаметр, мм		
	$H \pm m$	Различие, %	$t_{\text{факт}}$	$D \pm m$	Различие, %	$t_{\text{факт}}$
0 (контроль)	11.3 ± 0.13	—	—	1.8 ± 0.04	—	—
5	12.9 ± 0.17	12.0	7.2	1.9 ± 0.03	7.3	2.8
10	13.5 ± 0.17	16.1	10.2	1.9 ± 0.03	4.3	1.6
15	13.7 ± 0.16	17.1	11.3	1.9 ± 0.04	5.3	1.8

Таблица 6. Выход стандартных сеянцев ели в вариантах с использованием препарата «Экорост» в качестве подкормки в разных дозах (16 сентября 2020 г.)

Доза препарата, мл/10 л воды	Выход стандартных сеянцев, %		
	по высоте, см		по диаметру
	≥ 10	≥ 12	
0 (контроль)	78.5	37.6	27.5
5	88.6	66.2	55.1
10	90.5	72.2	44.4
15	91.6	78.2	51.9

Таблица 7. Биометрические параметры сеянцев сосны (посев 12 июня) в конце сезона (10 сентября 2019 г.)

Доза препарата, мл/10 л воды	Высота, см	Диаметр, мм	Выход стандартных сеянцев, %		
			по высоте, см		по диаметру
			≥ 10	≥ 12	
0	9.8 ± 0.11	1.6 ± 0.03	48.3	15.7	11.2
5	10.1 ± 0.12	1.6 ± 0.03	54.7	19.6	42.4
10	11.7 ± 0.12	1.8 ± 0.03	82.7	52.6	38.1
15	11.5 ± 0.12	1.8 ± 0.03	78.8	44.7	14.3

Таблица 8. Абсолютно сухая масса сеянцев сосны (посев 13 июня) и их частей по вариантам опытов с препаратом «Экорост» (в расчете на 1 сеянец) в лесопитомнике на II декаду сентября 2019 г., г (%)

Доза гуминового препарата, мл/10 л воды	Хвоя	Тонкие корни	Главный корень	Ствол	Сеянец	М. н. ч./м. т. к.
10	0.272 (51.7)	0.087 (16,6)	0.033 (6.4)	0.133 (25.3)	0.525 (100)	4.6
15	0.219 (48.9)	0.085 (18.9)	0.030 (6.6)	0.115 (25.6)	0.449 (100)	3.9
0 (контроль)	0.204 (51.1)	0.073 (18.2)	0.026 (6.4)	0.097 (24.3)	0.400 (100)	4.1

Примечание. М. н. ч./м. т. к. – отношение массы надземной части сеянцев к массе тонких корней.

В посевах сосны испытываемое удобрение показало наибольший положительный эффект, нежели в посевах ели первой ротации. При дозе препарата 10 и 15 мл на 10 л воды высота сеянцев превышала контрольный вариант на 19.4 и 17.3 % соответственно (различие достоверно для обоих вариантов $t_{st} = 11.7$ и 10.4), а диаметр – на 12.5 % (при достоверном различии $t_{st} = 4.7$). В варианте с удобрением в дозе 5 мл/10 л воды средняя высота сеянцев была больше всего на 3.1 % и различие оказалось недостоверно ($t_{st} = 1.8$).

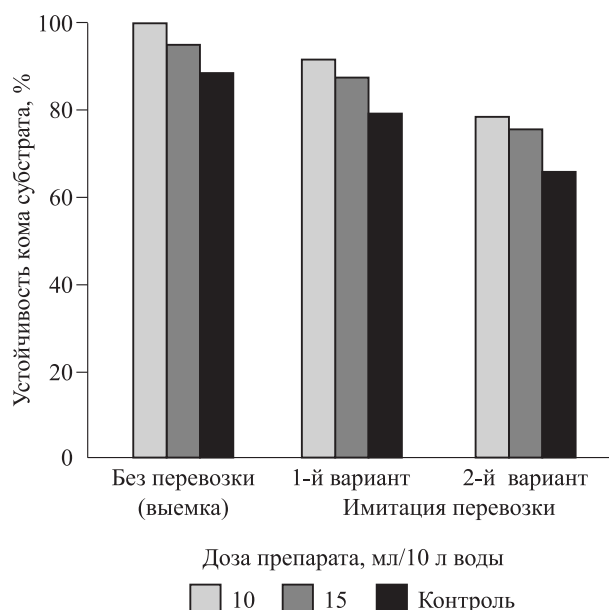
Наибольшая доля выхода стандартного посадочного материала (табл. 7) отмечена в варианте с использованием препарата «Экорост» в дозе 10 мл на 10 л воды (82.7 % по высоте и 52.6 % по диаметру для северо-таежного лесного района Европейской части РФ). Несколько меньшие показатели – в варианте с дозой удобрения 15 мл/10 л воды.

Наименьшая доля выхода стандартных сеянцев наблюдается в контроле – 48.3 % для северо-таежного района Европейской части РФ и 15.7 % для Двинско-Вычегодского лесного района по высоте и 11.2 % по диаметру.

Изучение фракционного состава сеянцев сосны в вариантах показало, что подкормка гуминовым препаратом способствует увеличению массы всех частей по сравнению с контролем (табл. 8).

У сеянцев сосны наблюдалось наибольшее относительное значение тонких физиологически активных корней при подкормке раствором гуминового препарата 15 мл/10 л воды. Соответственно при этой концентрации у сеянцев сосны отмечен наименьший показатель соотношения массы надземной части к массе тонких корней (3.9), но на всех вариантах этот показатель находился в оптимальных пределах.

Результаты определения устойчивости кома субстрата показали положительное влияние подкормок препаратом «Экорост» и в посевах сосны (рис. 4).

**Рис. 4.** Устойчивость кома субстрата сеянцев сосны в теплице лесопитомника в зависимости от различных доз подкормки гуминовым препаратом (II декада сентября 2019 г.).

У сосны наибольшая устойчивость установлена при подкормках с концентрацией гуминового раствора 10 мл/10 л воды 100–91–78 %, при концентрации 15 мл/10 л устойчивость кома несколько снижалась и составляла в среднем 95–87–75 %, в контроле она самая низкая – 88–79–65 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных можно с уверенностью утверждать, что гуминовый препарат «Экорост» в определенных концентрациях и способах применения оказал благоприятный эффект на рост сеянцев сосны и ели с закрытой корневой системой.

Опытным путем доказано, что обработка семян составом «Экорост» положительно влияет на их посевные качества: способствует стимуляции энергии прорастания и всхожести. Наи-

лучший эффект стимулирования показало замачивание семян в растворе в течение 12 и 24 ч. Энергия прорастания в среднем увеличилась на 10.0 и 13.0 % по сравнению с контролем, а всхожесть – на 9.3 и 12.3 %. Лучше всего семена прорастали в растворе при концентрации препарата 0.5 мл на 1 л воды. При предпосевной обработке «Экоростом» наблюдалось сокращение продолжительности прорастания семян. Так, в варианте с замачиванием семян в течение 24 ч продолжительность прорастания – 6 дней, в то время как в контроле она составляла 8 дней.

Результаты по испытанию стимулятора при подкормках сеянцев сосны и ели с закрытой корневой системой в лесопитомнике Архангельской области подтверждают перспективность его применения в качестве приема ускорения роста. При поливе сеянцев ели раствором гуминового препарата в концентрации 10 и 15 мл на 10 л воды увеличилась его масса, в том числе корневой системы, что обусловило более высокую устойчивость кома субстрата. Высота сеянцев на опытных вариантах на 10.7–17.1 % превышала высоту растений в контроле, увеличивая тем самым к концу сезона выход стандартного посадочного материала.

На сеянцы сосны гуминовый препарат оказал большее влияние, чем на сеянцы ели: при дозе удобрения 10 и 15 мл на 10 л воды высота растений превышала контрольный вариант на 19.4 и 17.3 % соответственно. Наибольший выход посадочного материала сосны дала подкормка сеянцев удобрением в концентрации 10 мл на 10 л воды.

Учитывая повышенный интерес к биостимуляторам роста и их увеличивающееся разнообразие, следует продолжить изучение действия гуминовых препаратов на рост сеянцев в контейнерах в различных дозах, сроках и способах обработки.

Публикация подготовлена по результатам исследований, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований. Регистрационный номер темы: АААА-А19-119012590152-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Андреева Е. М., Стеценко С. К., Кучин А. В., Терехов Г. Г., Хуришкainen Т. В. Влияние стимуляторов роста природного происхождения на проростки хвойных пород // Лесотех. журн. 2016. № 3. С. 10–19 [Andreeva E. M., Stetsenko S. K., Kuchin A. V., Terekhov G. G., Khurshkaynen T. V. Vliyanie stimulyatorov rosta prirodnogo proiskhozhdeniya na prorstki khvoynykh porod (The influence of growth-promoting factors obtained from natural material on softwood germs) // Lesotekh. zhurn. (For. Engineer. J.). 2016. N. 3. P. 10–19 (in Russian with English abstract)].
- ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1985. 5 с. [ГОСТ 26483-85. Pochvy. Pri-gotovlenie solevoy vytyazhki i opredeleniye ee rN po metodu TsINAO (Soils. Preparation of a salt extract and determination of its pH by the CINAO method). Moscow: Izdatelstvo standartov (Standards Publ. House), 1985. 5 p. (in Russian)].
- ГОСТ 27784-88. Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв. М.: Изд-во стандартов, 1988. 7 с. [ГОСТ 27784-88. Pochvy. Metod opredeleniya zol'nosti torfyanykh i otorfovannykh gorizontov pochv (Soils. Method for determination of ash content of peat and peat-containing soil horizons). Moscow: Izdatelstvo standartov (Standards Publ. House), 1988. 7 p. (in Russian)].
- ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартиформ, 2019. 14 с. [ГОСТ Р 54650-2011. Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedineniy fosfora i kaliya po metodu Kirsanova v modifikatsii TsINAO (Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method modified by CINAO). Moscow: Standartinform, 2019. 14 p. (in Russian)].
- Кабанова С. А., Данченко М. А., Борцов В. А., Кочерганов И. С. Результаты предпосевной обработки семян сосны обыкновенной стимуляторами роста // Лесотех. журн. 2017. № 2 (26). С. 75–83 [Kabanova S. A., Danchenko M. A., Bortsov V. A., Kocherganov I. S. Rezultaty predposevnoy obrabotki semyan sosny obyknovennoy stimulyatorami rosta (Results of pre-sowing treatment of seeds of Scots pine with growth stimulants) // Lesotekh. zhurn. (For. Engineer. J.). 2017. N. 2 (26). P. 75–83 (in Russian with English abstract)].
- Левченкова А. Н. Гуминовые препараты как инструмент перехода к экологически безопасным технологиям в сельском хозяйстве // Перспективные направления взаимодействия науки и общества как основа инновационного развития. Сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Стерлитамак, 25 сент. 2020 г. Уфа: Аэтерна, 2020. С. 29–33 [Levchenkova A. N. Guminovye preparaty kak instrument perekhoda k ekologicheski bezopasnym tekhnologiyam v sel'skom khozyaystve (Humic preparations as a tool for the transition to environmentally friendly technologies in agriculture) // Perspektivnye napravleniya vzaimodeystviya nauki i obshchestva kak osnova innovatsionnogo razvitiya. Sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Sterlitamak, 25 sent. 2020 g. (Perspective directions of interaction between science and society as the basis for innovative development. Coll. of articles of the Int. Sci.-Pract. Conf., Sterlitamak, 25 Sept., 2020). Ufa: Aeterna, 2020. P. 29–33 (in Russian)].
- Методические указания по определению щелочногидролизующего азота в почве по методу Корнфилда. М.: ЦИНАО, 1985. 9 с. [Metodicheskie ukazaniya po opre-

- deleniyu shchelochnogidrolizuyemogo azota v pochve po metodu Kornfilda (Guidelines for the determination of alkaline hydrolysable nitrogen in soil by the Kornfield method). Moscow: CINAО (Central Inst. Agrochem. Serv.), 1985. 9 p. (in Russian)].
- Наими О. И. Гуминовые препараты: свойства, источники и промышленное получение (обзор) // Аллея науки. 2018. Т. 1. № 8 (24). С. 276–282 [Naimi O. I. Guminovye preparaty: svoystva, istochniki i promyshlennoe polucheniye (obzor) (Humic preparations: properties, sources and industrial production (review) // Alleya nauki (Alley Sci.). 2018. V. 1. N. 8 (24). P. 276–282 (in Russian)].
- Неганова Н. М. Гуминовые удобрения как фактор оптимизации условий роста и развития декоративных растений // Науч. мысль Кавказа. 2011. № 3. С. 96–99 [Neganova N. M. Guminovye udobreniya kak faktor optimizatsii usloviy rosta i razvitiya dekorativnykh rasteniy (Humic fertilizers as a factor in optimizing the conditions for the growth and development of ornamental plants) // Nauch. mysl' Kavkaza (Sci. thought of the Caucasus). 2011. N. 3. P. 96–99 (in Russian)].
- Немков П. С., Грехова И. В. Влияние гуминового препарата на сеянцы хвойных пород // Теор. и прикл. экол. 2015. № 1. С. 96–99 [Nemkov P. S., Grekhova I. V. Vliyanie guminovogo preparata na seyantsy khvoynykh porod (Influence of a humic preparation on coniferous seedlings) // Teor. prikl. ecol. (Theor. Appl. Ecol.). 2015. N. 1. P. 96–99 (in Russian with English abstract)].
- Пентелькина Ю. С. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев хвойных видов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2003. 24 с. [Pentel'kina Yu. S. Vliyanie stimulyatorov na vskhozhest' semyan i rost seyantsev khvoynykh vidov: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.03.01 (Effect of stimulants on seed germination and growth of seedlings of coniferous species: Cand. agr. sci. (PhD) thesis: Forest crops, selection, seed growing). Moscow: Mosk. gos. un-t lesa (Moscow St. Univ. For.), 2003. 24 p. (in Russian)].
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 04.12.2020 г. № 1014 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений». Зарег. в Минюсте РФ 18 декабря 2020 г. № 61556. М.: Мин-во природ. ресурсов и экол. РФ, 2020 [Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossyskoy Federatsii ot 04.12.2020 g. № 1014 «Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, sostava proekta lesovosstanovleniya, poryadka razrabotki proekta lesovosstanovleniya i vneseniya v nego izmeneniy». Zareg v Minyuste RF 18 dekabrya 2020 g. N. 61556. (Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of 04.12.2020 N. 1014 «On the approval of the Rules for reforestation, the composition of the reforestation project, the procedure for the development of the reforestation project and amending it». Reg. Min. Justice Rus. Fed. 18 December 2020 N. 61556.). Moscow: Min-vo prirod. resursov i ecol. RF (Ministry Nat. Res. Ecol. Rus. Fed.), 2020 (in Russian)].
- Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 № 312-п «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года». М.: Правительство РФ, 2021 [Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 11.02.2021 N. 312-p «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda» (Order of the Government of the Russian Federation of 11.02.2021 N. 312-p «On approval of the Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030»). Moscow: Pravitelstvo RF (Government of the Russian Federation), 2021 (in Russian)].
- Сахнов В. В. Особенности развития сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы Сукачевы (*Larix sukaczewii* Dyl.) при использовании препарата «Гумирал» в лесных питомниках Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Уфа: Ин-т биол. Уфим. науч. центра РАН, 2007. 21 с. [Sakhnov V. V. Osobennosti razvitiya seyantsev sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) i listvennitsy Sukacheva (*Larix sukaczewii* Dyl.) pri ispol'zovanii preparata «Gumiral» v lesnykh pitomnikakh Srednego Povolzhya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.16. (Features of development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Sukachev larch (*Larix sukaczewii* Dyl.) seedlings with the use of «Gumiral» drug in forest nurseries of the Middle Volga region): Cand. biol. sci. (PhD) thesis: Ecology). Ufa: Int biol. Ufim. nauch. centra RAN (Inst. Biol. Ufa Sci. Center Rus. Acad. Sci.), 2007. 21 p. (in Russian)].
- Соркина Т. А., Куликова Н. А., Филиппова О. И., Панкратов Д. А., Перминова И. В., Петросян В. С. Корректоры железодефицитного состояния растений на основе гуминовых веществ угля: получение и применение // Экология и промышленность России. 2010. № 2. С. 33–36 [Sorkina T. A., Kulikova N. A., Filippova O. I., Pankratov D. A., Perminova I. V., Petrosyan V. S. Korrek-tory zhelezodefitsitnogo sostoyaniya rasteniy na osnove guminovykh veshchestv uglya: polucheniye i primeneniye (Compensators of iron-deficient conditions of plants on the basis of humic substances of coal: manufacture and application) // Ekologiya i promyshlennost' Rossii (Ecol. Industry Rus.). 2010. N. 2. P. 33–36 (in Russian with English abstract)].
- Степанов А. А., Шульга П. С., Госсе Д. Д., Смирнова М. Е. Применение природных гуматов для ремедиации загрязненных городских почв и стимулирования роста растений // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2018. № 2. С. 30–34 [Stepanov A. A., Shul'ga P. S., Gosse D. D., Smirnova M. E. Primeneniye prirodnnykh gumatov dlya remediatsii zagryaznennykh gorodskikh pochv i stimulirovaniya rosta rasteniy (Natural humates application for remediation of contaminated urban soils and stimulation of plant growth) // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie (Bull. Moscow Univ. Ser. 17. Soil Sci.). 2018. N. 2. P. 30–34 (in Russian with English abstract)].
- Устинова Т. С., Зуров Р. Н. Влияние препарата Гумат+7 на ростовые процессы хвойных пород // Актуал. пробл. лесн. комплекса. 2010. № 26. С. 115–118 [Ustinova T. S., Zurov R. N. Vliyanie preparata Gumat+7 na rostovye protsessy khvoynykh porod (The effect of the Gumat+7 drug on the growth processes of conifers) // Aktual. Probl. lesn. kompleksa (Actual probl. of the forest complex). 2010. N. 26. P. 115–118 (in Russian with English abstract)].

- Фроленкова М. С., Волкович А. П. Влияние предпосевной обработки семян сосны обыкновенной и ели европейской на их всхожесть и энергию прорастания // Тр. БГТУ. Лесное хозяйство. 2016. № 1 (183). С. 148–152 [Frolenkova M. S., Volkovich A. P. Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan sosny obyknovennoy i eli evropeyskoy na ikh vskhozhest' i energiyu prorstaniya (Influence of pre-sowing treatment of Scots pine and European spruce seeds on their germination and germination energy) // Tr. BGTU. Lesnoe hozyajstvo (Proc. Belarus. St. Univ. Technol. For.). 2016. N. 1 (183). P. 148–152 (in Russian with English abstract)].
- Хамитов Р. С. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны кедровой сибирской: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Архангельск: Арханг. гос. тех. ун-т, 2006. 18 с. [Khamitov R. S. Vliyanie stimulyatorov na vskhozhest' semyan i rost seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.03.01 (Effect of stimulants on seed germination and growth of Siberian cedar pine seedlings: Cand. Agr. Sci. (PhD) thesis: For. crops, selection, seed growing). Arkhangelsk: Arhang. gos. tekhn. un-t (Arkhangelsk St. Engineer. Univ.), 2006. 18 p. (in Russian)].
- Экорост, 2021 [Ekorost (Ecol. growth), 2021]. <https://ekorost.ru/>
- Якименко О. С., Терехова В. А. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1334–1343 [Yakimenko O. S., Terekhova V. A. Guminovye preparaty i otsenka ikh biologicheskoy aktivnosti dlya tseyey sertifikatsii (Humic preparations and the assessment of their biological activity for certification purposes) // Pochvovedenie (Soil Sci.) 2011. N. 11. P. 1334–1343 (in Russian with English abstract)].
- Ben Mrid R., Benmrid B., Hafsa J., Boukcim H., Sobeh M., Yasri A. Secondary metabolites as biostimulant and bio-protectant agents: A review // Sci. Total Environ. 2021. V. 777. N. 1. Article number: 146204.
- Ghata Y., Ali M., Elsadek M., Yousry M. Enhancing growth, productivity and artemisinin content of *Artemisia annua* L. Plant using seaweed extract and micronutrients // Industr. Crops Products. 2021. V. 161. N. 164. Article number: 113202.
- Kabanova S. A., Musoni W., Zenkova Z. N., Danchenko M. A., Scott S. A., Kabanov A. N. Selection of Scots pine seedling growth stimulants in extreme conditions of the Northern Kazakhstan steppe zone // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. V. 611. N. 012039. P. 1–11.
- Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A. Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism // Sci. Agr. 2016. V. 73. N. 1. P. 18–23.
- Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors // Plant Signal. Behav. 2010. V. 5. N. 6. P. 635–643.
- Yakimenko O. S., Terekhova V. A. Humic preparations and the assessment of their biological activity for certification purposes // Euras. Soil Sci. 2011. V. 44. Iss. 11. P. 1222–1230 (Original Rus. Text © O. S. Yakimenko, V. A. Terekhova, 2011, publ. in Pochvovedenie. 2011. N. 11. P. 1334–1343).

THE EXPERIENCE OF USING A HUMIC PREPARATION FOR GROWING CONIFEROUS BALL-ROOTED SEEDLINGS IN THE CONDITIONS OF ARKHANGELSK OBLAST

S. V. Gorbunova, A. O. Sen'kov, D. H. Fayzulin

*Northern Research Institute of Forestry
Nikitov str., 13, Arkhangelsk, 163062 Russian Federation*

E-mail: svetlana.bobushkina@sevniilh-arh.ru, senkov@sevniilh-arh.ru, forestry@sevniilh-arh.ru

The use of environmentally-friendly stimulants (humates) is one way to realization of the principle that the annual area of reforestation is equal to the area of fellings carried out, as well as the timely supply of quality planting stock to forest users at an acceptable cost. The purpose of the research is to study the extent to which the humic specimen stimulates growth and development of softwood ball-rooted seedlings. The influence of solutions of various concentrations of humic preparation «Ecorost» as a plant food on growth of pine (*Pinus* L.) and spruce (*Picea* L.) seedlings in containers in the forest nursery of the Arkhangelsk Oblast for 2 years was analyzed. In addition, the Norway spruce seed preparation product was considered. The results of the work confirmed the possibility and prospects of using humic preparations in the production of softwood planting stock. The yield of standard plants for the Dvinsko-Vychegodskiy forest district increased by 36.9 and 34.6 % respectively for pine and spruce with a 10 ml by 10 l water solution for watering. The weight of seedlings increased on experimental versions as compared to control, and the substrate became more resistant. The germinating energy increased by 10.0–13.0 % by virtue of pre-plant soaking of spruce seeds compared to control, the germinability increased by 9.3–12.3 %, seed germination reduced from 8 to 6 days. Further research on the use of such stimulants in forest production is recommended, considering the positive effect of humic specimen on pine and spruce seedlings.

Keywords: *planting material with closed root system, humates, stimulant, seedlings, Norway spruce (Picea abies (L.) H. Karst.), Scots pine (Pinus sylvestris L.).*

How to cite: Gorbunova S. V., Sen'kov A. O., Fayzulin D. H. The experience of using a humic preparation for growing coniferous ball-rooted seedlings in the conditions of Arkhangelsk Oblast // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 1. P. 41–51 (in Russian with English abstract and references).

УДК 606:634.739.2

АДАПТАЦИЯ КЛЮКВЫ БОЛОТНОЙ К НЕСТЕРИЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЭКОПРЕПАРАТОВ И ГОРМОНОВ

С. С. Макаров¹, И. Б. Кузнецова², С. А. Родин³, С. Ю. Цареградская³, А. И. Белан⁴

¹ Центрально-европейская лесная опытная станция Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства
156013, Кострома, пр. Мира, 134

² Костромская государственная сельскохозяйственная академия
156530, Костромская обл., Костромской р-н, п. Караваево, Учебный городок, Караваевская с/а, 34

³ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства
и механизации лесного хозяйства
141202, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 15

⁴ Петрозаводский государственный университет
185910, Республика Карелия, Петрозаводск, пр. Ленина, 33

E-mail: makarov_serg44@mail.ru, sonnereiser@yandex.ru, info@vniilm.ru,
tsaregradskaya@vniilm.ru, anna.belan.66@mail.ru

Поступила в редакцию 05.07.21 г.

Приведены результаты исследований по укоренению *in vitro* растений клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) сортов Дар Костромы и гибридной формы 1-15-635 при клональном микроразмножении на питательной среде WPM 1/4 и адаптации их к нестерильным условиям. На этапе укоренения растений клюквы болотной *in vitro* при повышении концентрации ИУК от 0.5 до 1.0 мл/л и при добавлении препарата Экогель в концентрации 0.5 мг/л количество корней растений сорта Дар Костромы увеличивалось на 36.7 %, у гибридной формы 1-15-635 – на 7.4 %. На этапе адаптации клюквы болотной к нестерильным условиям *ex vitro* использовали субстраты из верхового торфа с добавлением экопрепаратов микоризного типа (Микориза, Биомикориза, Микогель). Максимальная приживаемость клюквы болотной (98–100 %) отмечена при использовании субстрата торфа с добавлением препарата Микориза. Сроки пересадки оказывали существенное влияние на приживаемость растений. Лучшие показатели (84–86 %) отмечены у представителей обоих сортов, пересаженных в мае. На участках верхового торфа приживаемость клюквы болотной составила 92–96 %. Урожайность ягод была высокой.

Ключевые слова: *in vitro*, клональное микроразмножение, сорт, корнеобразование, приживаемость, торф, урожайность.

DOI: 10.15372/SJFS20220105

ВВЕДЕНИЕ

Клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.) в Северном полушарии произрастает преимущественно на сфагновых болотах лесной зоны, лесотундры и тундры. Растения предпочитают постоянное умеренное увлажнение, умеренное минеральное питание, кислую реакцию среды, аэрацию субстрата, хорошую освещенность. В условиях культуры клюква бо-

лотная, по сравнению с клюквой крупноплодной (*O. macrocarpus* (Aiton) Pursh), более зимостойка, менее требовательна к теплообеспеченности вегетационного периода, но менее урожайная. При ее выращивании на плантациях наблюдается значительное повышение урожайности и эффективности культуры в сравнении с эксплуатацией естественных зарослей (Рекомендации..., 1977; Черкасов и др., 1981; Корепанова, Новиков, 2011). Самую высокую урожайность

на плантации дают высокопродуктивные сорта и гибриды этого ягодного растения (Коренев и др., 2019).

Кроме того, плоды и листья клюквы болотной имеют высокую пищевую и лекарственную ценность. В ягодах содержатся сахара (глюкоза, фруктоза – 2.4–4.7 %), органические кислоты (лимонная, бензойная, яблочная, хинная, щавелевая, олеаноловая, янтарная – 2.8–3.5 %), пектины (0.2–1.4 %), дубильные вещества, витамины С (8–30 мг %), В1, В2, В5, В6, РР, К1 (филлохинон), фолиевая кислота, бетаин, биофлавоноиды (антоциан, лейкоантоциан, катехины, флавонолы, фенолокислоты), микро- и макроэлементы (К, Р, Са, Fe, Mn, Mo, Cu, I, Mg, Ba, В, Со, Ag, Zn, Сг, Al) (Харитонов Л. А., Харитонов Н. К., 2010; Барнаулов, Поспелова, 2013; Brown et al., 2012). Клюква обладает широким спектром целебного воздействия и может применяться в медицине при лечении большого ряда различных заболеваний как антисептическое, противовоспалительное, гипотензивное, противогрибковое, антисклеротическое, гемостатическое средство (Сычев, 2011; Торилов, 2013; Колонтарев, Зайцев, 2014).

С каждым годом вследствие усиления антропогенного вмешательства в природные процессы сокращаются запасы и качество ягодных и грибных угодий. При этом также не менее актуальной остается проблема освоения неиспользуемых земель лесного фонда, включая выработанные и осушенные торфяные месторождения. Данные проблемы возможно разрешить путем промышленного выращивания лесных ягодных растений, в связи с чем необходимо создание ягодных плантаций на данных землях (Eck, 1990; Vilbaste et al., 1995; Черкасов, 2002; Noormets et al., 2003; Кожурин, 2007; Vahejõe et al., 2010; Тяк и др., 2016; Паспорт..., 2018).

Для массового выращивания клюквы болотной эффективен метод клонального микро-размножения, который позволяет в условиях лаборатории круглогодично получать большое количество оздоровленного и устойчивого к заболеваниям и вредителям посадочного материала (Калашникова, 2012; Сельскохозяйственная биотехнология..., 2015). Существующий на сегодняшний день опыт клонального микро-размножения клюквы болотной (Litwińczuk, 2013; Кухарчик и др., 2016; Зонтиков и др., 2019) не позволяет в полной мере оценить эффективность роста и развития растений после их адаптации к нестерильным условиям *ex vitro*. Кроме того, для повышения приживаемости и плодо-

ношения размноженных ранее растений *in vitro* при выращивании в естественных почвенных условиях могут использоваться современные экопрепараты, содержащие споры микоризы.

Цель настоящего исследования – изучить особенности адаптации растений клюквы болотной, размноженной методом *in vitro*, к нестерильным условиям *ex vitro* при использовании экопрепаратов микоризного типа и гормонов, а также исследовать рост и развитие клюквы после пересадки в естественные условия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по выращиванию клюквы болотной в культуре *in vitro* и после ее пересадки в нестерильные условия *ex vitro* проводились по общепринятым методикам, адаптированным к местным условиям произрастания (Калашникова, 2012; Макаров и др., 2019), в лаборатории клонального микро-размножения растений на базе Центрально-европейской лесной опытной станции ВНИИЛМ в 2018–2020 гг. В качестве объектов использовались растения клюквы болотной сорта Дар Костромы и гибридной формы 1-15-635, полученные в результате селекционных работ Костромской лесной опытной станции ВНИИЛМ в 1998–1999 гг. и обладающие высокой урожайностью, крупноплодностью, зимостойкостью и другими хозяйственно ценными свойствами (Макеев, Макеева, 2014).

Этап «введение в культуру *in vitro*». Отобранные одревесневшие черенки клюквы болотной тщательно мыли щеткой с мылом и моющим средством «Лазурит» (ЗАО «Аист», Россия) в теплой проточной воде, промывали дистиллированной водой и отпускали на несколько секунд в 96%-й спирт. Черенки помещали в марлевые мешочки и стерилизовали в условиях ламинарного бокса. В качестве эксплантов использовали апикальные меристемы. Для стерилизации растительного материала (стеблей и почек), предназначенного для вычленения экспланта, применяли различные стерилизующие растворы: 0.1%-й сулемы, 5%-й экостерилизатора бесхлорного, 0.2%-й азотнокислого серебра, 5%-й препарата Лизоформин 3000 (Lizoform Dr. Hans Rosemann GmbH, Германия). Время стерилизации – 5, 10, 15 и 20 мин. После стерилизации растительные объекты тщательно отмывали от стерилизующих веществ пятикратным ополаскиванием дистиллированной водой. Проводили ополаски-

вание при пяти–семикратной смене стерильной воды. Экспланты переносили на питательную среду в пробирки и закрывали культуральный сосуд пленкой. Выделенные экспланты культивировали в течение 5 нед в условиях световой комнаты при температуре 22–25 °С, интенсивности света 1500 лк, фотопериоде 16/8 ч. Через 14 дней учитывали жизнеспособность эксплантов по соотношению живых эксплантов к общему количеству введенных в культуру. После формирования побегов (через 25–30 сут) в каждом варианте высаживали по 100 апикальных меристем.

Этап «собственно микроразмножение».

В условиях ламинарного бокса исходные растения-регенеранты клюквы болотной извлекали из культурального сосуда, разделяли их на микрочеренки длиной 1–2 см и пересаживали на питательную среду Woody Plant Medium (WPM) (Lloyd, McCown, 1980), разбавленную в 4 раза (рН среды 4.0–4.5), содержащей микро- и макроэлементы, витамины, сахарозу, агар-агар. В качестве регулятора роста применяли 2-изопентиладенин (2-iP) в концентрациях 0.5–1.0 мг/л. Культуральные сосуды закрывали пищевой пленкой и переносили в световую комнату, где поддерживали освещение 2500–6000 лк, 16-часовой фотопериод, температуру 23–25 °С и влажность воздуха 70–80 %. Культивирование клюквы проводили в течение 48–65 сут.

Этап «укоренение *in vitro*». Микрочеренки клюквы болотной пересаживали на питательную среду WPM 1/4, содержащую в качестве регулятора роста индолилуксусную кислоту (ИУК) в концентрациях 0.5 и 1.0 мг/л. Для стимулирования корнеобразования использовали препарат Экогель ВР («Биохимические технологии», Россия) в концентрации 0.5 мл/л, полифункциональный агроэкологический активатор роста, болезнеустойчивости и урожайности различных культур, основным действующим веществом которого является хитозан – мощный корнеобразователь и индуктор иммунитета растений (рис. 1). Растения разделяли на микрочеренки длиной 1.0–1.5 см с двумя междоузлиями и пересаживали их на питательную среду, содержащую ауксины. После этого горлышко сосуда закрывали пищевой пленкой и ставили в световую комнату, где поддерживали освещение 2500–3000 лк, 16-часовой фотопериод, температуру 25 °С и относительную влажность воздуха 80 %. Культивирование проводили в течение 30–50 сут.

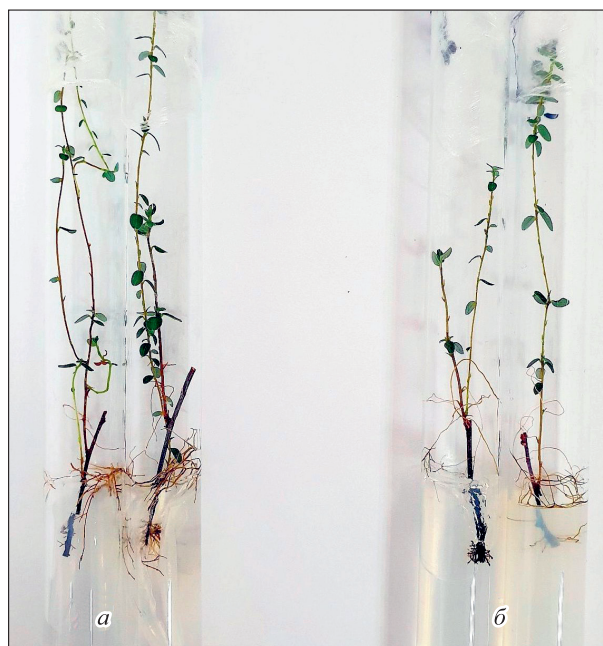


Рис. 1. Корнеобразование микрорастений клюквы болотной *in vitro* с добавлением препарата Экогель (а) и без него (б).

Учитывали количество образуемых корней. Повторность опыта – трехкратная, по 10 микро-растений в каждой.

Этап адаптации к нестерильным условиям *ex vitro*. Растения клюквы болотной с хорошо развитой корневой системой вынимали из пробирки и промывали корни в 1%-м растворе KMnO_4 (слабо-розовый цвет) для предотвращения развития патогенной микрофлоры. Укорененные в пробирках растения пересаживали в кассеты объемом 81.7 см³ с различными по составу субстратами и поливали водой, опрыскивали водой и надевали колпачки. Предварительно субстраты проливали 5%-м раствором KMnO_4 и оставляли на неделю в темном месте. В качестве субстрата использовали верховой торф, предварительно пропаренный при температуре 90 °С, а также торф с песком в соотношении 1 : 1. Далее вносили экопрепараты микоризного типа – Микориза (Bioelements Ltd., Великобритания), Биомикориза («Ортон», Россия), Микогель (Kimites, Испания), разведенные в воде в соотношении 1 : 10. Субстрат поливали полученными растворами, проводили мульчирование высушенным мхом сфагнумом (*Sphagnum* L.) и оставляли на 10 дней, после чего в него высаживали растения-регенеранты в различные сроки (рис. 2). Повторность опыта – трехкратная.

После адаптации к субстратам растения в разные сроки пересаживали в условия верхово-



Рис. 2. Микрорастения клюквы болотной, адаптированные к нестерильным условиям *ex vitro*.

го торфа на опытном участке Центрально-европейской лесной опытной станции ВНИИЛМ, находящемся в Костромском районе Костромской области (южно-таежный лесной район Европейской части России). Спустя 2 мес после высадки (июнь) учитывали приживаемость и биометрические показатели (длина побегов). После зимовки на 2-й год выращивания в мае учитывали приживаемость, на 3-й год – также приживаемость (май) и плодоношение (август) растений. Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения AGROS 2.11 и Microsoft Office Excel 2016. Достоверность различий между средними данными вариантов опыта оценивали с помощью наименьшей существенной разности для 5%-го уровня значимости (HCP_{05}). Для получения биометрических показателей растений на этапе укоренения *in vitro* применяли дисперсионный двухфакторный анализ, где фактор А – концентрация ауксина, фактор В – наличие экопрепарата в питательной среде (Доспехов, 1985).

Таблица 2. Влияние состава субстрата на приживаемость и биометрические показатели адаптируемых растений клюквы болотной

Состав субстрата	Приживаемость, %	Число листьев, шт.	Средняя длина побегов, см
<i>Сорт Дар Костромы</i>			
Торф верховой	46	5.9 ± 0.15	2.5 ± 0.40
Торф + Микориза	100	8.0 ± 0.46	3.9 ± 0.35
Торф + Биомикориза	66	5.6 ± 0.23	3.0 ± 0.17
Торф + песок 1:1 + Микогель	74	7.3 ± 0.34	3.0 ± 0.21
HCP_{05}		$F < F_{st}$	$F < F_{st}$
<i>Гибридная форма 1-15-635</i>			
Торф верховой	48	4.9 ± 0.29	2.0 ± 0.18
Торф + Микориза	98	8.2 ± 0.44	4.9 ± 0.31
Торф + Биомикориза	64	4.8 ± 0.25	3.2 ± 0.22
Торф + песок 1:1 + Микогель	72	6.4 ± 0.38	2.7 ± 0.20
HCP_{05}		$F < F_{st}$	$F < F_{st}$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При укоренении клюквы болотной с повышением в питательной среде концентрации ИУК от 0.5 до 1.0 мг/л и добавлением препарата Экогель в концентрации 0.5 мг/л наблюдалось увеличение числа корней у растений сорта Дар Костромы – в 1.4 раза, у гибрида 1-15-635 – в 1.1 раза (табл. 1). В вариантах без использования препарата Экогель при повышении концентрации ауксина ИУК оно увеличивалось лишь у гибридной формы (в 1.2 раза).

На этапе адаптации клюквы болотной к нестерильным условиям различные варианты состава субстрата оказывали разное влияние на приживаемость, количество и среднюю длину листьев. Наибольшая приживаемость растений (98–100 %) у обоих сортов наблюдали при использовании субстрата из торфа с Микоризой. На субстрате торф + песок 1 : 1 с добавлением препарата Микогель приживаемость была меньше (72–74 %), на торфе с препаратом Биомикориза – еще меньше (табл. 2).

Таблица 1. Число корней клюквы болотной на одно растение в зависимости от концентрации ИУК и добавления препарата Экогель

Сорт	Концентрация ИУК, мг/л	Число корней, шт.	
		с Экогелем, 0.5 мл/л	без Экогеля
Дар Костромы	0.5	3.0	1.8
	1.0	4.1	1.4
Гибрид 1-15-635	0.5	2.7	1.7
	1.0	2.9	2.1

Примечание. HCP_{05} : фактор А = 0.83, фактор В = 0.62, общ. = 1.18.



Рис. 3. Корневая система клюквы болотной *ex vitro* на торфяном субстрате с добавлением препарата Микориза (а) и без экокпрепаратов (б).

Аналогичная закономерность отмечена по числу листьев и по средней длине побегов: наилучшие показатели выявлены также на субстрате из торфа с добавлением препарата Микориза, а наименьшие – на верховом торфе без использования экокпрепаратов (рис. 3).

Таблица 3. Приживаемость растений клюквы болотной в зависимости от сроков пересадки в нестерильные условия

Месяц и число пересадки	Приживаемость, %	
	Сорт Дар Костромы	Гибридная форма 1-15-635
Март:		
10	40	44
20	42	40
30	42	69
В среднем за месяц	41.3	51
Апрель:		
10	30	34
20	42	44
30	70	74
В среднем за месяц	47.3	50.6
Май:		
10	76	78
20	80	84
30	96	96
В среднем за месяц	84	86

При пересадке в марте клюквы болотной в нестерильные условия в разные сроки (через каждые 10 дней) приживаемость растений гибридной формы (51 %) была в 1.2 раза выше, чем у сорта Дар Костромы, при пересадке в апреле – в 1.1 раза больше. Наилучшая приживаемость отмечена у растений клюквы обоих сортов, пересаженных в мае (табл. 3).

После пересадки растений на опытной участок с верховым торфом в 1-й год выращивания приживаемость растений клюквы болотной изучаемых сортов составила 92–96 % (табл. 4).

Наибольший суммарный прирост побегов (30 см на одно растение) отмечен у сорта Дар Костромы, у гибридной формы он был в 1.1 раза меньше.

На 2-й год выращивания на опытном участке суммарный прирост побегов у гибридной формы (122.2 см) оказался в 1.3 раза большим по сравнению с сортом Дар Костромы. На 3-й год суммарные приросты побегов не имели существенных различий между сортами.

Цветение высаженных растений клюквы болотной обоих сортов наблюдали на 2-й год выращивания в I декаде мая (рис. 4).

В 1-й год после пересадки растений клюквы болотной, полученных методом клонального микроразмножения, на участок верхового торфа ягоды не образовывались, на 2-й год у обоих сортов они были единичны, а на 3-й год их урожайность у сорта Дар Костромы составила 856 г/м², гибридной формы – 1-15-635 – 890 г/м².

Таблица 4. Приживаемость и биометрические показатели клюквы болотной на опытном участке в условиях верхового торфа

Показатель	Год выращивания	Дар Костромы	Гибридная форма 1-15-635
Приживаемость, %	1-й	92	96
	2-й	100	100
	3-й	100	100
Число побегов, шт./растение	1-й	3.0 ± 0.25	2.8 ± 0.21
	2-й	5.2 ± 0.31	4.5 ± 0.28
	3-й	6.5 ± 0.43	6.1 ± 0.39
НСР ₀₅		F < F _{st}	F < F _{st}
Длина побегов, см	1-й	10.0 ± 0.44	9.8 ± 0.37
	2-й	18.0 ± 0.93	18.3 ± 0.96
	3-й	26.1 ± 1.01	27.3 ± 1.08
НСР ₀₅		F < F _{st}	F < F _{st}
Суммарный прирост побегов, см/растение	1-й	30.0 ± 1.20	27.8 ± 1.13
	2-й	93.0 ± 3.42	122.2 ± 3.92
	3-й	169.8 ± 7.10	166.7 ± 6.98
НСР ₀₅		F < F _{st}	F < F _{st}



Рис. 4. Цветение клюквы болотной сорта Дар Костромы в естественных условиях на верховом торфе.

Таким образом, использование экопрепаратов с содержанием микоризы при адаптации клюквы болотной сорта Дар Костромы и гибридной формы 1-15-635 к нестерильным условиям и последующей высадке в открытый грунт благоприятно влияют на приживаемость, сохранность и урожайность растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований по выращиванию растений клюквы болотной в культуре *in vitro*, последующей их адаптации к нестерильным условиям и к естественным условиям выработанного торфяника можно сделать следующие выводы:

1. При повышении концентрации ИУК от 0.5 до 1.0 мг/л и добавлении в питательную среду WPM 1/4 препарата Экогель в концентрации 0.5 мг/л на этапе укоренения клюквы болотной *in vitro* увеличивалось количество корней растений сорта Дар Костромы и гибридной формы 1-15-635.
2. На этапе адаптации к нестерильным условиям наилучшие показатели приживаемости и биометрических характеристик (средняя длина побегов, количество листьев) растений обоих сортов выявлены при использовании субстрата из торфа с добавлением экопрепарата Микориза.
3. При пересадке клюквы болотной в нестерильные условия максимальная приживаемость (84–86 %) наблюдалась у растений обоих сортов, пересаженных в мае.
4. При выращивании пересаженных растений клюквы болотной в естественных условиях на верховом торфе урожайность на 3-й год составляла 856–890 г/м².

Таким образом, использование метода клонального микроразмножения с применением экопрепаратов и гормонов на этапах укоренения микропобегов и адаптации растений к нестерильным условиям целесообразно при создании ягодных плантаций с целью промышленного выращивания сортового посадочного материала клюквы болотной, а также улучшения приживаемости и повышении урожайности растений в условиях выработанных торфяников. Это будет способствовать обеспечению многоцелевого, рационального, непрерывного и неистощительного лесопользования, в том числе и для удовлетворения потребностей общества в недревесных ресурсах леса.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации по плановой теме «Разработка способов получения посадочного материала лесных ягодных растений для выращивания на нелесных землях» (Приказ Рослесхоза № 1061 от 25.12.2018).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Барнаулов О. Д., Поспелова М. Л. Лекарственные свойства фруктов и ягод. СПб.: Информ-Навигатор, 2013. 256 с. [Barnaulov O. D., Pospelova M. L. Lekarstvennyye svoystva fruktoy i yagod (Medicinal properties of fruits and berries). St. Petersburg: Inform-Navigator, 2013. 256 p. (in Russian)].
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (Field experiment technique). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian)].
- Зонтиков Д. Н., Зонтикова С. А., Малахова К. В., Марамохин Э. В. Влияние состава питательных сред и регуляторов роста при клональном микроразмножении некоторых полиплоидных форм рода *Vaccinium* L. // Изв. Самар. НЦ РАН. 2019. Т. 21. № 2. С. 39–44 [Zontikov D. N., Zontikova S. A., Malakhova K. V., Maramokhin E. V. Vliyanie sostava pitatel'nykh sred i regul'yatorov rosta pri klonal'nom mikrorazmnozhenii nekotorykh poliploidnykh form roda *Vaccinium* L. (Influence of the composition of nutritional media and growth regulators during clonal micropropagation of some polyploid forms of the genus *Vaccinium* L.) // Izv. Samar. NTs RAN (Bull. Samara Sci. Center Rus. Acad. Sci.). 2019. V. 21. N. 2. P. 39–44 (in Russian with English abstract)].
- Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений: учеб. пособ. М.: РГАУ-МСХА, 2012. 318 с. [Kalashnikova E. A. Kletochnaya inzheneriya rasteniy: ucheb. posob. (Cellular engineering of plants: tutorial). Moscow: RGAU-MSHA (Rus. St. Agr. Univ. – Moscow Agr. Acad. named after K. A. Timiryazev), 2012. 318 p. (in Russian)].

- Кожурин С. И. Организация управления адаптивным природопользованием: моногр. Кострома: Костром. гос. технол. ун-т, 2007. 183 с. [Kozhurin S. I. Organizatsiya upravleniya adaptivnym prirodogopol'zovaniem: monogr. (Organization of management of adaptive nature management: monograph.). Kostroma: Kostrom. gos. tekhnol. un-t (Kostroma St. Univ. Technol.), 2007. 183 p. (in Russian)].
- Колонтарев К. Б., Зайцев А. В. Применение проантоцианидинов клюквы в терапии рецидивирующей мочевого инфекции. Обзор литературы и собственный опыт // Мед. совет. 2014. № 19. С. 28–31 [Kolontarev K. B., Zaytsev A. V. Primenenie proantotsianidinov klyukvy v terapii retsidiviruyushchey mochevoy infektsii. Obzor literatury i sobstvennyy opyt (Use of cranberry proanthocyanidins in the treatment of recurrent urinary tract infection. Literature review and own experience) // Med. sovet (Med. Council). 2014. N. 19. P. 28–31 (in Russian with English abstract)].
- Корнев И. А., Тяк Г. В., Макаров С. С. Создание новых сортов лесных ягодных растений и перспективы их интенсивного размножения (*in vitro*) // Лесохоз. информ. 2019. № 3. С. 180–189 [Korenev I. A., Tyak G. V., Makarov S. S. Sozdanie novykh sortov lesnykh yagodnykh rasteniy i perspektivy ikh intensivnogo razmnazheniya (*in vitro*) (Creation of new varieties of forest berry plants and the prospects of their intensive reproduction (*in vitro*)) // Lesokhoz. inform. (For. inform.). 2019. N. 3. P. 180–189 (in Russian with English abstract)].
- Корепапова Д. Д., Новиков И. Л. Выращивание плантационной клюквы на минеральных и торфяных почвах в условиях Удмуртской Республики // Вестн. Удмурт. гос. ун-та. Биол. Науки о земле. 2011. Вып. 3. С. 43–46 [Korepanova D. D., Novikov I. L. Vyrashchivanie plantatsionnoy klyukvy na mineral'nykh i torfyanykh pochvakh v usloviyakh Udmurtskoy Respubliki (Cultivation of plantation cranberry on mineral and peat soils in the conditions of the Udmurt Republic) // Vest. Udmurt. gos. un-ta. Biol. Nauki o zemle (Bull. Udmurt St. Univ. Biol. Earth Sci.). 2011. Iss. 3. P. 43–46 (in Russian with English abstract)].
- Кухарчик Н. В., Кастрицкая М. С., Семенов С. Э., Колбанова Е. В., Красинская Т. А., Воловев Н. Н., Соловей О. В., Змущко А. А., Божидай Т. Н., Рундя А. П., Малиновская А. М. Размножение плодовых растений в культуре *in vitro* / Ред. Н. В. Кухарчик. Минск: Беларус. навука, 2016. 208 с. [Kuharchik N. V., Kastrickaya M. S., Semenas S. E., Kolbanova E. V., Krasinskaya T. A., Volosevich N. N., Solovej O. V., Zmushko A. A., Bozhidaj T. N., Rundya A. P., Malinovskaya A. M. Razmnazhenie plodovykh rasteniy v kul'ture *in vitro* (Reproduction of fruit plants *in vitro* culture) / N. V. Kukharchik (Ed.). Minsk: Belarus. Navuka, 2016. 208 p. (in Russian)].
- Макаров С. С., Калашикова Е. А., Кузнецова И. Б., Киракосян Р. Н. Выращивание лесных ягодных растений в условиях *in vitro*: лаб. практ. Караваево: Костром. гос. с.-х. акад., 2019. 48 с. [Makarov S. S., Kalashnikova E. A., Kuznetsova I. B., Kirakosyan R. N. Vyrashchivanie lesnykh yagodnykh rasteniy v usloviyakh *in vitro*: lab. pract (Cultivation of forest berry plants *in vitro*: lab. pract.). Karavaevo: Kostrom. gos. s.-h. akad. (Kostroma St. Agr. Acad.), 2019. 48 p. (in Russian)].
- Макеев В. А., Макеева Г. Ю. Клюква // Помология. Т. V. Земляника. Малина. Орехоплодные и редкие культуры. Орел: ВНИИСПК, 2014. С. 419–431 [Makeev V. A., Makeeva G. Yu. Klyukva (Cranberry) // Pomologiya. T. V. Zemlyanika. Malina. Orekhoplodnye i redkie kul'tury (Pomology. V. 5. Strawberry. Raspberry. Walnut and rare crops). Orel: VNIISPК (All-Rus. Sci. Res. Inst. Fruit Crops Breed.), 2014. P. 419–431 (in Russian)].
- Паспорт национального проекта «Экология». Утв. протоколом президиума Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам от 24.12.2018 № 16 [Pasport natsional'nogo proekta «Ekologiya». Utv. protokolom prezidiuma Soveta pri Prezidente RF po strategicheskemu razvitiyu i nacional'nym proektam ot 24.12.2018 N. 16 (Passport of the National project «Ecology». App. by Protocol of the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects dated December 24, 2018 N. 16) (in Russian)].
- Рекомендации по созданию плантаций клюквы в европейских районах СССР. Гомель, 1977. 25 с. [Rekomendatsii po sozdaniyu plantatsiy klyukvy v evropeyskikh rayonakh SSSR (Recommendations for the creation of cranberry plantations in the European regions of the USSR). Gomel, 1977. 25 p. (in Russian)].
- Сельскохозяйственная биотехнология и биоинженерия: учебник. Изд. 4-е, перераб. и доп. / Под общ. ред. В. С. Шевелухи. М.: URSS, 2015. 700 с. [Sel'skokhozyaystvennaya biotekhnologiya i bioinzheneriya (Agricultural biotechnology and bioengineering): textbook. 4th Ed., revised and updated / V. S. Shevelukha (Ed.). Moscow: URSS, 2015. 700 p. (in Russian)].
- Сычев Д. А. Применение препаратов клюквы в урологической практике: взгляд клинического фармаколога // Урология. 2011. № 6. С. 97–103 [Sychev D. A. Primenenie preparatov klyukvy v urologicheskoy praktike: vzglyad klinicheskogo farmakologa (The use of cranberry preparations in urological practice: the view of a clinical pharmacologist) // Urologiya (Urology). 2011. N. 6. P. 97–103 (in Russian with English abstract)].
- Ториков В. Е. Лекарственная ценность овощных, плодово-ягодных, полевых растений и дикоросов: моногр. Брянск: Брян. ГСХА, 2013. 292 с. [Torikov V. E. Lekarstvennaya tsennost' ovoshchnykh, plodovo-yagodnykh, polevykh rasteniy i dikorosov (Medicinal value of vegetables, fruits and berries, field plants and wild plants). Bryansk: Bryan. GSHA (Bryansk St. Agr. Acad.), 2013. 292 p. (in Russian)].
- Тяк Г. В., Курлович Л. Е., Тяк А. В. Биологическая рекультивация выработанных торфяников путем создания посадок лесных ягодных растений // Вестн. Казан. гос. агр. ун-та. 2016. Т. 11. № 2. С. 43–46 [Tyak G. V., Kurlovich L. E., Tyak A. V. Biologicheskaya rekultivatsiya vyrabotannykh torfyanikov putem sozdaniya posadok lesnykh yagodnykh rasteniy (Biological reclamation of depleted peatlands by creating plantings of forest berry plants) // Vestn. Kazan. gos. agr. un-ta (Bull. Kazan St. Agr. Univ.). 2016. V. 11. N. 2. P. 43–46 (in Russian with English abstract)].
- Харитонов Л. А., Харитонов Н. К. Все о ягодах. Маленькая энциклопедия с рецептами. М.: Эксмо, 2010. 232 с.

- [Kharitonova L. A., Kharitonova N. K. Vse o yagodakh. Malen'kaya entsiklopediya s retseptami (All about berries. A small encyclopedia with recipes). Moscow: Eksmo, 2010. 232 p. (in Russian)].
- Черкасов А. Ф. Плантационное возделывание клюквы в США // Лесн. хоз-во. 2002. № 4. С. 46 [Cherkasov A. F. Plantatsionnoe vozdelывanie klyukvy v SShA (Plantation cultivation of cranberries in the USA) // Lesn. khoz-vo (For.). 2002. N. 4. P. 46 (in Russian)].
- Черкасов А. Ф., Буткус В. Ф., Горбунов А. Б. Клюква. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 214 с. [Cherkasov A. F., Butkus V. F., Gorbunov A. B. Klyukva (Cranberry). Moscow: Lesn. Prom-st' (For. Industry), 1981. 214 p. (in Russian)].
- Brown P. N., Turi C. E., Shipley P. R., Murch S. J. Comparisons of large (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) and small (*Vaccinium oxycoccos* L., *Vaccinium vitis-idaea* L.) cranberry in British Columbia by phytochemical determination, antioxidant potential, and metabolomic profiling with chemometric analysis // Planta. Med. 2012. V. 78. N. 6. P. 630–640.
- Eck P. The American cranberry. New Brunswick and London: Rutgers Univ. Press, 1990. 420 p.
- Litwińczuk W. Micropropagation of *Vaccinium* sp. by in vitro axillary shoot proliferation // Protocols for micropropagation of selected economically-important horticultural plants. NY, Springer Sci., Business Media, 2013. P. 63–76.
- Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible micropropagation of Mountain Laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot tip culture // Comb. Proc. Int. Plant Propagator's Soc. 1980. N. 30. P. 421–427.
- Noormets M., Karp K., Paal T. Recultivation of opencast peat pits with *Vaccinium* culture in Estonia // Ecosystems and Sustainable Development IV. Wessex Inst. Technol., UK & J-L. USO, Univ. Jaume I, Spain, 2003. N. 2. P. 1005–1014.
- Vahejõe K., Albert T., Noormets M., Karp K., Paal T., Starast M., Värnik R. Berry cultivation in cutover peatlands in Estonia: agricultural and economical aspects // Balt. For. 2010. V. 16. N. 2. P. 264–272.
- Vilbaste H., Vilbaste J., Ader K. Cranberry – the grape of the north. Tallinn: Ministry of Environ., Rep. Estonia, Nigula St. Nat. Reserve, 1995. 16 p.

ADAPTATION OF EUROPEAN CRANBERRY TO NON-STERILE CONDITIONS WITH THE ADDITION OF ORGANIC PRODUCTS AND HORMONES

S. S. Makarov¹, I. B. Kuznetsova², S. A. Rodin³, S. Yu. Tsaregradskaya³, A. I. Belan⁴

¹ Central European Forest Experimental Station,
All-Russian Scientific Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry
Prospekt Mira, 134, Kostroma, 156013 Russian Federation

² Kostroma State Agricultural Academy
Uchebny Gorodok str., 34, Karavaevskaya s/a, Karavaevo, Kostroma District, Kostroma Oblast,
156530 Russian Federation

³ All-Russian Scientific Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry
Institutskaya str., 15, Pushkino, Moscow Oblast, 141202 Russian Federation

⁴ Petrozavodsk State University
Prospekt Lenina, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910 Russian Federation

E-mail: makarov_serg44@mail.ru, sonnereiser@yandex.ru, info@vniilm.ru,
tsaregradskaya@vniilm.ru, anna.belan.66@mail.ru

The results of studies on rooting *in vitro* of European cranberry *Oxycoccus palustris* Pers. plants of Dar of Kostroma cultivar and hybrid form 1-15-635 during clonal micropropagation on a WPM 1/4 nutrient medium and its adaptation to non-sterile conditions. With an increase in the concentration of IAA from 0.5 to 1.0 mg/l and with the addition of Ecogel at a concentration of 0.5 mg/l the number of roots of European cranberry plants of the Dar of Kostroma cultivar increased by 36.7 %, of the hybrid form 1-15-635 – by 7.4 % at the stage of rooting *in vitro*. Substrates from high-moor peat are used with the addition of mycorrhizal-type ecological preparations (Mycorrhiza, Biomikoriza, Mycogel) at the stage of adaptation of European cranberry to non-sterile conditions *ex vitro*. The maximum survival (98–100 %) of cranberry are observed when using a peat substrate with the addition of Mycorrhiza. The timing of transplantation had a significant impact on the survival rate of cranberry plants. The best survival rates (84–86 %) are observed in plants of both cultivars transplanted in May. The survival rate of plants is high (92–96 %) in the first year of cultivation after transplanting European cranberry to a high-moor peat plot under natural conditions. Yield data has a high values.

Keywords: *in vitro*, clonal micropropagation, cultivar, root formation, survival rate, peat, yield.

How to cite: Makarov S. S., Kuznetsova I. B., Rodin S. A., Tsaregradskaya S. Yu., Belan A. I. Adaptation of European cranberry to non-sterile conditions with the addition of organic products and hormones // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 1. P. 52–60 (in Russian with English abstract and references).

SCIENTIFIC HERITAGE (НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ)

UDC (092) + 630*+574

SCIENTIFIC HERITAGE OF PROFESSOR AKIRA OSAWA

O. A. Zyryanova

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

E-mail: zyryanova-oa@ksc.krasn.ru

Received 23.11.2021

The article includes a biographical essay of Professor Akira Osawa (Japan) and a brief analysis of his scientific legacy. A. Osawa was born and raised in the post-war period, which became the period of the formation of a sovereign Japanese state and its tremendous economic growth (Japanese economic miracle). He was educated and received a Doctor of Philosophy Degree at the prestigious Yale University (USA), where he gained the first experience of an international scientific cooperation. Knowledge in the fields of general and forest ecology, forestry and environmental protection A. Osawa successfully applied carrying out research projects, preparing his articles and books, reviewing manuscripts of the other authors as well as teaching university and postgraduate students and conducting international environmental assessments of the Japanese Government. His scientific research was focused on self-thinning phenomenon, stand growth and development, natural catastrophic disturbances and their consequences, and ecosystem carbon dynamics. Boreal forests in North America, Siberia and Scandinavia have been the major subjects of his studies. The main achievement of A. Osawa's investigations was the new method proposed for quantitatively (stand density and stem parameters) reconstructing structural development over time of even-aged monospecific forests and applied to a larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) stand in the permafrost zone of Siberia. It relies on samples obtained from one-time observation that is of great importance for vast Siberian territories. Akira Osawa was the author and co-author of many scientific articles and chapters of monographs published in leading world journals and publishing houses, an active member of professional scientific communities and organizations. A. Osawa's biographical data were listed in Marquis Who's Who in the World (1995). The article contains a list of his main scientific publications, which gives an idea of the research topics, their geography and significance.

Keywords: *Akira Osawa, 1954–2019, short biography, forest ecology, forestry, even-aged larch stands, reconstructing structural development of tree stands.*

How to cite: Zyryanova O. A. Scientific heritage of professor Akira Osawa // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 1. P. 61–70 (in English with Russian abstract and references).

DOI: 10.15372/SJFS20220106

INTRODUCTION

Human memory is selective, and it is constantly freed from unnecessary information. However, some moments are remembered for a long time, sometimes for a lifetime.

Early morning of May 23rd, 2019, was cloudy, and I put the umbrella into my bag not to get wet. In my room at the Institute I switched on PC and

checked my post box. Not finding something important or urgent I turned to the usual routine, because many official formalities were expected to be done before our joint Russian-Japanese field research planned at Tura Experimental Forest and in the southern part of Krasnoyarsk region.

Sharp short sound made me to pay attention to the monitor where I saw the letter from Dr. Yojiro Matsuura with the phrase in the theme line: «He has



Fig. 1. Professor Akira Osawa.

just gone». This was very sad information on the decease of Professor Akira Osawa. And I heard the increasing noise of the rain outside: Siberian nature was crying together with me.

The first impression. I first met Dr. Akira Osawa in September 1995. He was one of four Japanese scientists coming to Krasnoyarsk to discuss the possibilities of Russian-Japanese cooperation focusing on the dynamics and productivity of Siberian forests. He stood out among his colleagues with a deep scientific curiosity, inquisitiveness, liveliness of mind and readiness to adopting new as well as by a critical thinking and objective analysis. Russian scientists also were affected by his fluent and running English, and only later on could we understand the reason of such perfect language knowledge.

Biographical events: education, honors, academic and professional experience, employment. Akira Osawa (Fig. 1) born on 19 April, 1954, in the city of Saitama – the center of Saitama Prefecture – located around 100 km northward of Tokyo.

The region is characterized by being one of the highly populated territories in Japan with average density of 5752 inhabitants per square kilometer.

In 1978 he has graduated from Nagoya University (Aichi Prefecture, Japan) with Bachelor of Science degree in Forestry. This four-year schedule in Laboratory of forest Environment and Resources of Department of Bioenvironmental Sciences (School

of Agricultural Sciences in Graduate School of Bio-agricultural Sciences) was the first of A. Osawa's knowledge in forestry science.

For his further professional education he decided to move to the USA and went there as a winner (1978) of the Overseas Student Exchange Scholarship (Ministry of Education, Japanese Government). In 1978–1979 as a special foreign exchange student, A. Osawa attended the living-learning programs of Oberlin College (Oberlin city, Ohio, USA). The Ecosystem Ecology course (Environmental Studies Department) in the College was the most tailored to his major and his interests. Here the student A. Osawa first learned the ecosystem concept, which provides a framework for understanding complex interactions between life and the physical environment and the role of humans as dominant agents of biogeochemical change. In this course, he studied the systems concepts to understand the flows of energy and the cycles of matter and control mechanisms that operate in ecosystems. Through group projects with his classmates, A. Osawa was comparing the structure and function of a variety of natural and human-dominated ecosystems all over the world enhancing and enriching in class instruction with focused out-of-class learning experiences.

Next (1979) year A. Osawa, as a Cornell University Research Assistantship, moved to the city of Ithaca, the state of New York, to continue his professional education. In 1981 he graduated from Department of Biological and Environmental Engineering in the College of Agricultural and Life Sciences of the Cornell University with Master of Science degree in Environmental Engineering, minor in ecology and evolutionary biology. The theme of Osawa's investigations and M.S. Thesis was «A mathematical model of the phenology of vegetative bud development in balsam fir». His major professor and supervisor was Dr. C. A. Shoemaker. In 1983, based on the thesis data, A. Osawa (with the co-authors C. A. Shoemaker & J. R. Stedinger) published his first paper in a refereed journal (see list of publications).

In 1981 A. Osawa changed Ithaca-city for the city of New Haven in the state of Connecticut (USA). Yale University, which the main commitment and mission statement is embodied in «improving the world today and for future generations», is located in New Haven-city. Akira Osawa stayed there in the period from 1981 till 1986. He started his research as a recipient of Yale University Fellowship and continued his investigations as a recipient of Romill Foundation Fellowship in 1984. Osawa's studies concerned to the dark-coniferous forest dynamics in

the northeast of the USA and resulted in his Ph.D. Dissertation titled ‘Patch dynamics of spruce-fir forests during a spruce budworm outbreak in Maine’. His major professor and supervisor at the University was Dr. David M. Smith. After the dissertation defense Akira Osawa got the Degree of Doctor of Philosophy in silviculture and forest ecology.

In April 1986, newly minted Dr. A. Osawa moved to the College of Forest Resources (at the present time – College of the Environment) at the University of Washington (Seattle, Washington). Here he was involved in a project in the Stand Management Cooperative, studying branch dynamics in Douglas-fir plantations. He also conducted projects on consideration of the self-thinning rule in tree populations. In the study Dr. Osawa was associated with Drs. Chadwick D. Oliver and Douglas A. Maguire.

In December 1987, as a visiting scientist of Forest Research Institute in the city of Christchurch, New Zealand, Akira Osawa investigated the self-thinning relationship of natural mountain beech (*Nothofagus solandri* Poole) populations at Craigieburn Forest Park in central South Island of New Zealand. The project of New Zealand’s Ministry of Forestry, where A. Osawa was participating and getting his first experience in the international joint research cooperation, was hosted by Drs. U. Bencke and G. H. Stewart, the specialists in black beech tree stand study.

In the period April 1988 – March 1996 Dr. A. Osawa was working as a silviculturist for the Hokkaido Research Center of the Forestry and Forest Products Research Institute (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries) in the city of Sapporo (Hokkaido Prefecture, Japan). Here he conducted studies on stem form development, its relationship to plant self-thinning, and effects of natural disturbances on patterns of stand development. That time (in autumn of 1995) A. Osawa first visited V. N. Sukachev Institute of Forest to learn the possibilities for Japanese-Russian mutual cooperation.

From April 1996 till March 2006 Dr. A. Osawa was working for Ryukoku University (Ohtsu, Japan), first (April 1996 – March 2001) as an associate professor of Faculty of Intercultural Communication. He taught undergraduate and Master’s level students in several environmental subjects, including «Global environment and humanity», «Environmental conservation», «Global resources», «Natural environment and industry». From April 2001, when in addition to other courses he instructed in English language «Introduction to natural environment», Dr. A. Osawa became a professor

of this Faculty. In the period April 2004 – March 2006 professor A. Osawa was also acting as a Dean of Graduate School of Intercultural Communication Faculty in Ryukoku University.

From August 2006 until his illness, Professor A. Osawa was working for Graduate School of Global Environmental Studies and Graduate School of Agriculture, Division of Forest and Biomaterials Sciences in Kyoto University (Kyoto Prefecture, Japan).

OTHER RESEARCH ACTIVITIES

After 1991, despite the main employment, Akira Osawa was involved in various research activities. In April 1991 A. Osawa, as a silviculture specialist and advisor, was invited to participate in an official mission of the Japanese Government to Brazil that examined feasibility of aiding a plantation project of slash pine *Pinus elliottii* Engelm. in the State of Sao Paulo. Mr. Y. Utsuki of Japan International Cooperation Agency (JICA) was the mission leader. In September-November 1995, as a visiting scientist, A. Osawa was invited to the Department of Forest Resources (University of Maine, Orono, Maine, U.S.A), to examine the relationship of the number of tree rings in sapwood cross-section vs. tree age in balsam fir *Abies balsamea* (L.) Mill. Dr. D. A. Maguire has hosted this visit. In the period from 1991 till 2019, Akira Osawa was acting as a principal investigator in the Ecological study of jack pine forests in Northwest Territories, Canada. He initiated and conducted studies on structural development of jack pine *Pinus banksiana* Lamb. populations in Wood Buffalo National Park. Later, in April 2002 – March 2003, A. Osawa, as a visiting professor (Department of Renewable Resources, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada), continued his research in this Park. He conducted a study on carbon budget of jack pine forests by examining biomass increment, organic litter and heterotrophic soil respiration in several even-aged stands.

SIBERIAN RESEARCH: A NEW METHOD AND ITS APPLICATION

At the same time Dr. Osawa spread his scientific interests to the boreal forests of Eurasia. In 1992 he started his research in larch forests in Yakutia, in 1995, after the inspection of the forested areas in Evenkia, he decided to continue his larch forest studies in this part of Siberia (Fig. 2–5).



Fig. 2. Discussion on larch stand development and tree differentiation in permafrost forest in Evenkia.



Fig. 3. To get remote area in Evenkia we could by helicopter only: one of the trips to Putorana mountains in Central Siberia.



Fig. 4. Looking for suitable experimental plots: a travel by a boat on Nizhnyaya Tunguska is the best way to observe huge postfire areas.



Fig. 5. The final photo at the end of the joint Russian-Japanese field studies at Evenkia Experimental station, in the settlement of Tura.

The main goals of his investigations here were the examination of structural development, carbon budget, and nutrient dynamics of the Central Siberian larch *Larix sibirica* Ledeb. forests.

In an integrated study on carbon dynamics of Siberian larch stands, Dr. A. Osawa developed a new method for reconstructing stand structure, which has been currently extended for estimating carbon dynamics in the past. The role of soil nitrogen on structure and development of larch forests was also studied.

A method was proposed for quantitatively reconstructing structural development over time of even-aged monospecific forests. It relies on samples obtained at one-time observation and some simple assumptions considered general in even-aged stands. Tree-ring data taken from breast height of a group of the largest trees and those measured at various stem heights of several individuals representing the range of tree sizes in the plot are used for the estimation. Stand density and parameters of stem volume distribution at a given time in the past were calculated with the «stem slenderness index», and with an assumption of the $-3/2$ power distribution for the distribution function of stem size, respectively. By developing time-dependent allometric relationships for individual tree attributes, the whole-stand values of stem volume and its increment were reconstructed for several decades of stand development.

The data required for the proposed stand reconstruction and the calculation of relationships and variables are summarized in the following:

Required data

(1) In various even-aged stands in the study area, DBH (d) and tree height (h) for several individuals are measured.

(2) In the same stands as above, stand density (number of trees per hectare; N) and maximum tree height (H) are measured.

(3) In a stand of which past structure is to be reconstructed and for several selected trees of various sizes (including the largest), DBH ($d(t)$), tree height ($h(t)$), total stem volume ($w(t)$), and annual stem volume growth ($x(t)$) for a given year (t) that are measured with stem analysis are obtained.

(4) In the reconstruction plot, DBH ($d(t)$) of the largest n^* trees for a given year (t) in the past are determined. The data may be obtained either by extracting stem cores or cutting out stem discs.

Calculation of relationships or values

(1) Using d and h data of a given stand (from step 1), establish the allometric relationship of

equation $h = cd^{b_3/a_3}$, and determine the stand-specific stem slenderness index (c).

(2) Using N and H data and the calculated stem slenderness index (c) of various stands (from steps 2 and 5), express stand density (N) as a function of c and H $\left(N = \frac{e^{1.72c}}{1.08H^2}\right)$.

(3) Using ($d(t)$) and ($h(t)$) data (from step 3), establish an allometric relationship of equation $h = cd^{b_3/a_3}$ and determine the stem slenderness index ($c(t)$) of that year.

(4) Assuming that $h(t)$ of the largest sample tree representing the maximum tree height of the stand at year t ($H(t)$) (from step 3), and using the results of steps 6 and 7, calculate the stand density of year t ($N(t)$) as a function of $c(t)$ and $H(t)$.

(5) Using $d(t)$, $w(t)$, and $x(t)$ data (from step 3), establish the allometric relationships between $w(t)$ and $d(t)$, and between $x(t)$ and $w(t)$.

(6) Using $d(t)$ data of the largest n^* trees (from step 4), calculate $w(t)$ of these trees with the obtained $w(t)$ – $d(t)$ allometry (from step 9).

Then, calculate $Y(w)$ $\left(Y(w) = \int_w^{w_{\max}} \phi w(w) dw\right)$ and

$\left(M(w) = \frac{Y(w)}{N(w)}\right)$ for all sizes of w . These $Y(w)$ and

$M(w)$ values are then used to estimate the parameters A and B of the $-3/2$ power distribution ($\phi(w)$)

in equation $\phi(w) = \frac{\sqrt{B}}{2A} w^{-3/2}$ for year t .

(7) Determine the minimum tree size ($w_{\min}$), by truncating the estimated stem size distribution ($\phi(w)$; from step 10) so that the cumulative stem number (adding in descending order from the largest) equals the calculated stand density ($N(t)$; from step 8).

(8) Using $w_{\min}$ (from step 11), calculate values of total and mean stem volume as $Y(w_{\min})$ and $M(w_{\min})$, respectively, with the equations from step (10). Then, with the $x(t)$ – $w(t)$ allometry (from step 9)

and $\left(X = \int_{w_{\min}}^{w_{\max}} x(w)\phi(w) dw\right)$, calculate the total

value of the annual stem volume growth ($X(w_{\min})$).

The method elaborated was successfully applied to a larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) forest in Central Evenkia, Krasnoyarsk region. Estimated history of the changes in stand density, total stem volume, and stem volume growth for the dense larch stand examined, mostly agreed with a separate estimation by the self-thinning assumption.

Japanese-Russian research projects. Professor Akira Osawa was a leader, co-leader and co-investigator of numerous Japanese-Russian joint research projects. Here are the titles only several of them:

- «Integrated study for terrestrial carbon management of Asia in the 21st century based on scientific advancements (sponsored by Ministry of Environment, Japan)» (2003–2006, V. N. Sukachev Institute of Forest RAS (SIF RAS) – Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI));

- «Estimation for carbon storage and carbon sequestration in northern forest ecosystem in Russia» (sponsored by Ministry of Environment, Japan) (2007–2010, SIF RAS – FFPRI);

- «Advancement of East Asia Forest Dynamics Plot Network – Monitoring forest carbon cycling for the development of climate change adaptations» (2014–2018, SIF RAS – FFPRI);

- «Structural changes in circumpolar boreal forests and climate change: analysis for the past 150 years with the stand reconstruction technique» (2014–2017, SIF RAS – Kyoto University), etc. (Fig. 2–5).

The results of ecological research on Siberian larch forests that has been conducted jointly by a team of Russian and Japanese scientists in northern part of boreal Siberian forests have been summarized in the monograph: Osawa A., Zyryanova O. A., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R. W. (Eds.) (2010). *Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests*. Ecological Studies Series, Springer, Dordrecht. 502 p.

Membership in professional societies and editorial boards. Dr. A. Osawa was a member of a number of professional societies: Ecological Society of Japan, Japanese Forestry Society, Botanical Society of Japan, Ecological Society of America, Society of American Foresters, New York Academy of Sciences, Sigma Xi Scientific Research Society, Ryukoku University Society of Intercultural Communication.

Being an advanced and experienced scientist, Professor A. Osawa served as a reviewer and a member of the editorial boards for professional journals such as *American Naturalist*, *Annals of Botany*, *Canadian Journal of Forest Research*, *Ecology*, *Ecological Research* (Associate editor, Sept. 2000 – Sept. 2003), *Ecoscience*, *Eurasian Journal of Forest Research* (Review board, 1999–2019), *Forest Ecology and Management*, *Journal of Ecology*, *Journal of Forest Research*, *Journal of Sustainable Forestry*, *Journal of Tropical Ecology*, *Tree Physiology*.

Created a scientific family. Akira Osawa started a scientific family. His wife, Nahoko Kurachi-Osawa, was working for Hiraoka Forest Institute. She was his real collaborator during their research in Northwestern Canadian forests and a co-author of many Osawa's articles. Their daughter Hatena decided to follow the path of her parents. Like her father, Hatena was a student of Nagoya University. She was studying there her Master's program in paleontology having interest in evolution and ecology of old invertebrates that lived about five billion years ago. Hatena's research site was in Mongolia and she visited there twice a year collecting rocks and fossils including the areas around Lake Khubsugul just across the border from Russia. A. Osawa wrote in one of his letters: «I understand that she is using some devices over there preparing the rock samples for examination. It has turned out that Hatena is quite adaptable to the field conditions in Mongolia even if she does not look so strong. It may be a result of her experience spending substantial time in the forest every year with her parents in northern Canada». Professor A. Osawa has proud of his family and of his daughter especially.

CONCLUSION

Undoubtedly, Professor Akira Osawa was an outstanding world-famous scientist. He devoted his life to the study of the forests in various parts of our planet, giving preference to the investigations in boreal forests. He liked Siberian nature and the northern Siberian larch forests, which opened the peculiarities and the regularities of their development to him. He has left rich scientific legacy that has yet to be explored.

The bright memory of you forever, Osawa-san!

MAIN SCIENTIFIC PUBLICATIONS OF PROFESSOR AKIRA OSAWA

- Osawa A., Shoemaker C. A., Stedinger J. R. A stochastic model of balsam fir bud phenology utilizing maximum likelihood parameter estimation // *For. Sci.* 1983. V. 29. Iss. 3. P. 478–490.
- Osawa A., Sugita S. The self-thinning rule: another interpretation of Weller's results // *Ecology*. 1989. V. 70. N. 1. P. 279–283.
- Osawa A. Causality in mortality patterns of spruce trees during a spruce budworm outbreak // *Can. J. For. Res.* 1989. V. 19. N. 5. P. 632–638.
- Osawa A. Reconstructed development of stem production and foliage mass and its vertical distribution in Japanese larch // *Tree Physiol.* 1990. V. 7. Iss. 1–4. P. 189–200.
- Osawa A., Ishizuka M., Kanazawa Y. A profile theory of tree growth // *For. Ecol. Manag.* 1991. V. 41. Iss. 1–2. P. 33–63.

- Osawa A. Fine-resolution analysis of stem form and its implication to the mechanisms of plant self-thinning // Can. J. For. Res. 1992. V. 22. N. 4. P. 403–412.
- Osawa A. Effects of mechanical stresses and photosynthetic production on stem form development of *Populus maximowiczii* // Ann. Bot. 1993. V. 71. Iss. 6. P. 489–494.
- Osawa A., Allen R. B. Allometric theory explains self-thinning relationships of mountain beech and red pine // Ecology. 1993. V. 74. Iss. 4. P. 1020–1032.
- Osawa A. Seedling responses to forest canopy disturbance following a spruce budworm outbreak in Maine // Can. J. For. Res. 1994. V. 24. N. 4. P. 850–859.
- Osawa A. Inverse relationship of crown fractal dimension to self-thinning exponent of tree populations: a hypothesis // Can. J. For. Res. 1995. V. 25. N. 10. P. 1608–1617.
- Osawa A. Three-dimensional structure of crowns and self-thinning processes // Jap. J. Ecol. 1996. V. 46. P. 97–102 (in Japanese).
- Osawa A., Kurachi N. A light-weight CCD camera technique for estimating three-dimensional distribution of foliage density in tree crowns // Ecoscience. 1997. V. 4. Iss. 2. P. 183–190.
- D'Arrigo R. D., Yamaguchi D. K., Wiles G. C., Jacoby G. C., Osawa A., Lawrence D. M. A Kashiwa oak (*Quercus dentata*) tree-ring width chronology from northern coastal Hokkaido, Japan // Can. J. For. Res. 1997. V. 27. N. 4. P. 613–617.
- Ishizuka M., Toyooka H., Osawa A., Kushima H., Sato A. Secondary succession following catastrophic windthrow in a boreal forest in Hokkaido, Japan: the timing of tree establishment // J. Sustain. For. 1997. V. 6. Iss. 3–4. P. 367–388.
- Takenaka A., Inui Y., Osawa A. Measurement of three-dimensional structure of plants with a simple device and estimation of light capture of individual leaves // Funct. Ecol. 1998. V. 12. Iss. 1. P. 159–165.
- Oliver C. D., Osawa A., Camp A. Forest dynamics and resulting animal and plant population changes at the stand and landscape levels // J. Sustain. For. 1998. V. 6. Iss. 3–4. P. 281–312.
- Kajimoto T., Matsuura Y., Sofronov M. A., Volokitina A. V., Mori S., Osawa A., Abaimov A. P. Above- and below-ground biomass and net primary productivity of a *Larix gmelinii* stand near Tura, Central Siberia // Tree Physiol. 1999. V. 19. Iss. 12. P. 815–822.
- Osawa A., Abaimov A. P., Zyryanova O. A. Reconstructing structural development of even-aged larch stands in Siberia // Can. J. For. Res. 2000. V. 30. N. 4. P. 580–588.
- Osawa A., Abaimov A. P. Feasibility of estimating stem size distribution from measurement on the largest trees in even-aged pure stands // Can. J. For. Res. 2001. V. 31. N. 5. P. 910–918.
- Osawa A., Abaimov A. P., Kajimoto T. Feasibility of estimating total stem volume and aboveground biomass from measurement on the largest trees in even-aged pure stands // Can. J. For. Res. 2001. V. 31. N. 11. P. 2042–2048.
- Usoltsev V. A., Koltunova A. I., Kajimoto T., Osawa A., Koike T. Geographical gradients of annual biomass production from larch forests in northern Eurasia // Euras. J. For. Res. 2002. V. 5. Iss. 1. P. 55–62.
- Kajimoto T., Matsuura Y., Osawa A., Prokushkin A. S., Sofronov M. A., Abaimov A. P. Root system development of *Larix gmelinii* trees affected by micro-scale conditions of permafrost soils in central Siberia // Plant & Soil. 2003. V. 255. Iss. 1. P. 281–292.
- Osawa A., Kurachi N. Spatial leaf distribution and self-thinning exponent of *Pinus banksiana* and *Populus tremuloides* // Trees: Struct. & Funct. 2004. V. 18. Iss. 3. P. 327–338.
- Osawa A., Kurachi N., Matsuura Y., Jomura M., Kanazawa Y., Sanada M. Testing a method for reconstructing structural development of even-aged *Abies sachalinensis* stands // Trees: Struct. & Funct. 2005. V. 19. Iss. 6. P. 680–694.
- Matsuura Y., Kajimoto T., Osawa A., Abaimov A. P. Carbon storage in larch ecosystems in continuous permafrost region of Siberia // Phytos. 2005. V. 45. N. 4. P. 51–54.
- Kajimoto T., Matsuura Y., Osawa A., Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Isaev A. P., Efremov D. P., Mori S., Koike T. Size-mass allometry and biomass allocation of two larch species growing on the continuous permafrost region in Siberia // For. Ecol. Manag. 2006. V. 222. Iss. 1–3. P. 314–325.
- Mori S., Yamaji K., Ishida A., Prokushkin S. G., Masyagina O. V., Hagihara A., Rafiqul Hoque A. T. M., Suwa R., Osawa A., Nishizono T., Ueda T., Kinjo M., Miyagi T., Kajimoto T., Koike T., Matsuura Y., Toma T., Zyryanova O. A., Abaimov A. P., Awaya Y., Araki M. G., Kawasaki T., Chiba Y., Umari M. Mixed-power scaling of whole-plant respiration from seedlings to giant trees // PNAS. 2010. V. 107. Iss. 4. P. 1447–1451.
- Do T. V., Osawa A., Thang N. T. Recovery process of a mountain forest after shifting cultivation in northwestern Vietnam // For. Ecol. Manag. 2010. V. 259. Iss. 8. P. 1650–1659.
- Osawa A., Zyryanova O. A. Introduction: Permafrost forest biome and brief history of investigation // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / Akira Osawa, Olga A. Zyryanova, Yojiro Matsuura, Takuya Kajimoto, Ross W. Wein (Eds.). Ecol. Stud. Ser. 209. Springer, Dordrecht, 2010. P. 3–15.
- Osawa A., Kajimoto T. Development of stand structure in larch forests // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / Akira Osawa, Olga A. Zyryanova, Yojiro Matsuura, Takuya Kajimoto, Ross W. Wein (Eds.). Ecol. Stud. Ser. 209. Springer, Dordrecht, 2010. P. 123–148.
- Kajimoto T., Osawa A., Usoltsev V. A., Abaimov A. P. Biomass and productivity of Siberian larch forest ecosystems // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / Akira Osawa, Olga A. Zyryanova, Yojiro Matsuura, Takuya Kajimoto, Ross W. Wein (Eds.). Ecol. Stud. Ser. 209. Springer, Dordrecht, 2010. P. 99–122.
- Mori S., Prokushkin S. G., Masyagina O. V., Ueda T., Osawa A., Kajimoto T. Respiration of larch trees // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / Akira Osawa, Olga A. Zyryanova, Yojiro Matsuura, Takuya Kajimoto, Ross W. Wein (Eds.). Ecol. Stud. Ser. 209. Springer, Dordrecht, 2010. P. 289–302.
- Osawa A., Matsuura Y., Kajimoto T. Characteristics of larch forests in Siberia and potential responses to warming climate // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / Akira Osawa, Olga A. Zyryanova, Yojiro Matsuura, Takuya Kajimoto, Ross W. Wein (Eds.). Ecol. Stud. Ser. 209. Springer, Dordrecht, 2010. P. 459–481.
- Tran V. D., Osawa A., Nguyen T. T. Recovery of gestation structure and species diversity after shifting cultivation in Northwestern Vietnam, with special reference to commercially valuable tree species // Int. Schol. Res. Network. Ecol. 2011. Article ID 751472. 12 p.

- Tran V. D., Osawa A., Nguyen T. T., Nguyen B. V., Bui T. H., Cam Q. K., Le T. T., Diep X. T.* Population changes of early successional forest species after shifting cultivation in Northwestern Vietnam // *New Forests*. 2011. V. 41. Iss. 2. P. 247–262.
- Osawa A., Aizawa R.* A new approach to estimate fine root production, mortality, and decomposition using litter bag experiment and soil core techniques // *Plant & Soil*. 2012. V. 355. Iss. 1–2. P. 167–181.
- Kawamura A., Makita N., Osawa A.* Response of microbial respiration from fine root litter decomposition to root water content in a temperate broad-leaved forest // *Plant Root*. 2013. V. 7. P. 77–82.
- BOOKS AND BOOK CHAPTERS**
- Osawa A., Spies C. J., Dimond III J. B.* Patterns of tree mortality during an uncontrolled spruce budworm outbreak in Baxter State Park, 1983 // *Tech. Bull.* 1986. N. 121. Maine Agr. Exp. St., Univ. Maine, Orono, ME, USA. 69 p.
- Osawa A.* Development of a mixed conifer forest in Hokkaido, northern Japan, following a catastrophic wind-storm // *The ecology and silviculture of mixed-species forests* / M. J. Kelty, B. C. Larson and C. D. Oliver (Eds.). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Acad. Publ., 1992. P. 29–52.
- Biodiversity and Ecology in the Northernmost Japan* / Higashi S., Osawa A., Kanagawa K. (Eds.). Sapporo, Japan: Hokkaido Univ. Press, 1993. 154 p.
- Osawa A.* Crown fractal in northern forests // *Hokkaido in ecological perspective* / Higashi S., Abe E., Tsujii T. (Eds.). Sapporo, Japan: Hokkaido Univ. Press, 1993. P. 144–151 (in Japanese).
- Proc. Forestry and Forest Products Res. Inst. Int. Workshop*, Tsukuba, Japan, 7–9 Sept., 1993: Part I & Part II / Nakashizuka T., Oliver C. D., Osawa A., White P. S. (Eds.) // *J. Sustain. For.* 1998. V. 6. N. 1–4 (Spec. Iss.). P. 1–388.
- Osawa A.* Borea forest // *Encyclopedia of Ecology* / Y. Iwasa, T. Matsumoto, K. Kikuzawa and Ecol. Soc. Jap. (Eds.). Japan: Kyoritsu Shuppan, 2003. P. 4–6 (in Japanese).
- Maguire D. A., Osawa A., Batista J. L. F.* Primary production, yield and carbon dynamics // *Coniferous Forests of the World* / F. Andersson and S. Gessel (Eds.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2005. P. 339–384.
- Permafrost ecosystems: Siberian larch forests* / Akira Osawa, Olga A. Zyryanova, Yojiro Matsuura, Takuya Kajimoto, Ross W. Wein (Eds.). Ecol. Stud. Ser. 209. Springer, Dordrecht, 2010. 502 p.
- Tran V. D., Osawa A., Nguyen T. T.* Succession of secondary forest in Vietnam. Succession process of secondary forest on fallow land in Northwestern, Vietnam. Saarbrücken, Germany: Lambert Acad. Publ., 2012. 101 p.
- DISSERTATIONS**
- Osawa A.* A mathematical model of the phenology of vegetative bud development in balsam fir. Ms. Thesis. Ithaca, New York, USA: Cornell Univ., 1983. 91 p.
- Osawa A.* Patch dynamics of spruce-fir forests during a spruce budworm outbreak in Maine. PhD thesis. New Haven, Connecticut, USA: Yale Univ., 1986. 128 p.

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА АКИРЫ ОСАВЫ

О. А. Зырянова

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

E-mail: zyryanova-oa@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 23.11.2021 г.

Статья включает биографический очерк профессора Акиры Осава (Япония) и краткий анализ его научного наследия. А. Осава родился и вырос в послевоенное время, ставшего периодом становления государства Япония и его грандиозного экономического роста (японского экономического чуда). Он получил высшее образование и степень доктора философии в престижном Йельском Университете (США), где приобрел первый опыт международного научного сотрудничества. Свои знания в области общей и лесной экологии, лесоведения и охраны окружающей среды А. Осава успешно применял при выполнении исследовательских проектов, подготовке своих статей и книг, рецензировании рукописей других авторов, в процессе обучения студентов университетов и аспирантов, при проведении международных экологических экспертиз Правительства Японии. В фокусе его научных интересов – феномен самоизреживания древостоев, их рост и развитие, катастрофические нарушения природных экосистем и их последствия, динамика углерода в лесных экосистемах. Объектами исследований были бореальные леса Северной Америки, Сибири и Скандинавии. Основным достижением научных исследований А. Осава стал метод реконструкции со временем структуры древостоев (густота древостоя и параметры стволов деревьев), разработанный и примененный для разновозрастных одновидовых лиственничных насаждений (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) в криолитозоне Сибири. Главное преимущество метода заключается в одноразовом сборе полевых материалов, что важно для Сибири с ее обширными территориями. А. Осава – автор и соавтор многих научных статей и глав монографий, опубликованных в ведущих мировых журналах и издательствах, активный член профессиональных научных сообществ и организаций. Биографические данные А. Осава упомянуты в справочном издании Marquis Who's Who in the World (1995). В статье приведен список его основных научных трудов, который дает представление о тематике исследований, их географии и значимости.

Ключевые слова: Акира Осава, 1954–2019, краткая биография, лесная экология, лесное хозяйство, разновозрастные лиственничные насаждения, реконструкция структурного развития древостоев.

Зырянова О. А. Scientific heritage of professor Akira Osawa (Научное наследие профессора Акиры Осава) // Сибирский лесной журнал. 2022. № 1. С. 61–70 (на английском языке, реферат на русском).

CONTENTS

RESEARCH ARTICLES

<i>O. A. Prituzhalova, M. V. Gorshkova</i> Comparative Analysis of the Requirements of the Russian Forest Legislation and FSC Forest Certification	3
<i>L. V. Afanas'eva, O. V. Kalugina, M. V. Oskorbina, T. M. Kharpuhaeva</i> Features of Elemental Composition and Pigment Complex of the Siberian Larch Needles Under Impact of Irkutsk Aluminum Smelter Emissions	20
<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	33
<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	41
<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	52

SCIENTIFIC HERITAGE

<i>O. A. Zyryanova</i> Scientific Heritage of Professor Akira Osawa	61
--	----

* JUBILEE

<i>* E. P. Kashkarov</i> In the Center of Siberian Anticyclone (Celebrating 70 th Birthday of Oleg Alexandrovich Pomortsev)	
--	--

* Article is published in online edition.

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

<i>О. А. Притужалова, М. В. Горикова</i> Сравнительный анализ требований российского лесного законодательства и лесной сертификации FSC	3
<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	20
<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	33
<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	41
<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	52

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ

<i>О. А. Зырянова</i> Scientific Heritage of Professor Akira Osawa	61
---	----

* ЮБИЛЕЙ

<i>* Е. П. Кашкаров</i> В центре Сибирского антициклона (к 70-летию со дня рождения Олега Александровича Поморцева)	
---	--

* Статья публикуется в сетевом издании.