

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

ISSN 2311-1410

Сибирский лесной журнал

Номер 5
Сентябрь–Октябрь 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 5 September–October 2022

Peer-reviewed Scientific Journal. Established January 2014

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

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

Editor-in-Chief

Alexander A. Onuchin
onuchin@ksc.krasn.ru

Associate Editors-in-Chief

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

Managing Editor

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

Associate Editors

Galina F. Antonova (RF), Natalia E. Antonova (RF), Stanislav P. Arefyev (RF), Sezgin Ayan (Turkey), Vladimir F. Baginskiy (Belarus), Eugene V. Banaev (RF), Yuri N. Baranchikov (RF), Kirsten Barrett (UK), Sergei A. Bartalev (RF), Sergei M. Bebiya (Abkhazia), Vera E. Benkova (RF), Kapitolina S. Bobkova (RF), Jiquan Chen (USA), Tumen N. Chimitdorziev (RF), Chimidnyam Dorjsuren (Mongolia), Chultem Dugarjav (Mongolia), Alexey A. Dymov (RF), Steve Eubanks (USA), Svetlana Yu. Evgrafova (RF), Sergey N. Goroshkevich (RF), Irina D. Grodnitskaya (RF), Andrei N. Gromtsev (RF), Georg Guggenberger (Germany), Alexander P. Isaev (RF), Galina A. Ivanova (RF), Vladislav N. Kalaev (RF), Olga V. Kalugina (RF), Vyacheslav I. Kharuk (RF), Alexander V. Kirdyanov (RF), Natal'ya I. Kirichenko (RF), Grigoriy B. Kofman (RF), Alexander P. Kovalev (RF), Yuri N. Krasnoshchekov (RF), Konstantin V. Krutovsky (RF, Germany), Alexander M. Kryshen (RF), Konstantin N. Kulik (RF), Andrei N. Kupriyanov (RF), Qinglin Li (Canada), Sune Linder (Sweden), Sergei R. Loskutov (RF), Tatyana A. Moskalyuk (RF), Elena N. Muratova (RF), Sergei V. Osipov (RF), Igor N. Pavlov (RF), Heli Peltola (Finland), Viliam Pichler (Slovakia), Alexander V. Pimenov (RF), Anatoly S. Prokushkin (RF), Valery P. Putenikhin (RF), Olga A. Shapchenkova (RF), Dmitriy G. Schepaschenko (RF, Austria), Christiane Schmullius (Germany), Olga V. Shergina (RF), Alexander S. Shishikin (RF), Svetlana D. Shlotgauer (RF), Anatoly Z. Shvidenko (RF, Austria), Vladimir A. Sokolov (RF), Vladislav G. Soukhovolsky (RF), Ge Sun (USA), Vyacheslav V. Tarakanov (RF), Alexander N. Tashev (Bulgaria), Elena E. Timoshok (RF), Josef Urban (Czechia), Vladimir V. Usenya (Belarus), Vladimir A. 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

№ 5 2022 Сентябрь–Октябрь

Научный журнал. Издается с января 2014 г.

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

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

Главный редактор
А. А. Онучин

Редакционная коллегия:

Г. Ф. Антонова (РФ), Н. Е. Антонова (РФ), С. П. Арефьев (РФ), С. Аян (Турция), В. Ф. Багинский (Беларусь),
Е. В. Банаев (РФ), Ю. Н. Баранчиков (РФ), К. Баррет (Великобритания), С. А. Барталев (РФ), С. М. Бебия (Абхазия),
В. Е. Бенкова (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),
С. Ю. Евграфова (РФ), Г. А. Иванова (РФ), А. П. Исаев (РФ), В. Н. Калаев (РФ), О. В. Калугина (РФ), А. В. Кирдянов (РФ),
Н. И. Кириченко (РФ), А. П. Ковалев (РФ), Г. Б. Кофман (РФ), Ю. Н. Краснощеков (РФ), К. В. Крутовский (РФ, Германия),
А. М. Крышень (РФ), К. А. Крюкова (*научный редактор*, РФ), К. Н. Кулик (РФ), А. Н. Куприянов (РФ), Ж. Ли (Канада),
С. Линдер (Швеция), С. Р. Лоскутов (РФ), Т. А. Москалюк (РФ), Е. Н. Муратова (РФ), Т. А. Никитина (*ведущий редактор*, РФ),
С. В. Осипов (РФ), И. Н. Павлов (РФ), Х. Пелтола (Финляндия), А. В. Пименов (РФ), В. Пихлер (Словакия),
А. С. Прокушкин (РФ), В. П. Путенихин (РФ), Т. С. Седельникова (*зам. главного редактора*, РФ),
Л. Н. Скрипальщикова (*отв. секретарь*, РФ), В. А. Соколов (РФ), Г. Сун (США), В. Г. Суховольский (РФ),
В. В. Тараканов (РФ), А. Н. Ташев (Болгария), Е. Е. Тимошок (РФ), Й. Урбан (Чехия), В. В. 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. Шлоттауэр (РФ), К. Шмуллиус (Германия),
Д. Г. Щепаченко (РФ, Австрия), С. Юбанкс (США), В. Т. Ярмишко (РФ)

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

Редакция «Сибирского лесного журнала»
Телефоны: (391) 249-4639; (391) 290-5516
E-mail: lara@ksc.krasn.ru
Интернет-сайт: sibirskiiylesnoyjournal.pf, sibjforsci.com

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

© Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 2022
© Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН), 2022



Основная тематика журнала:

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

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

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

«Сибирский лесной журнал» включен в российскую систему научного цитирования eLibrary.ru (РИНЦ), международные реферативные базы данных: Ulrichsweb: Global Serials Directory, Directory of Open Access Journals (DOAJ), AGRIS, CABI Forest Science Database, перечень периодических научных изданий ВАК при Минобрнауки РФ, готовится к включению в международные реферативные базы данных научной периодики и цитирования: Springer, Scopus, Web of Science. Полнотекстовые статьи размещаются на сайте журнала в сети: sibirskii-lesnoy-jurnal.pf, sibjforsci.com.

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

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

Ведущий редактор Т. А. Никитина

Научный редактор К. А. Крюкова

Дизайн обложки С. Р. Лоскутов

Техническое редактирование и верстка Т. Р. Пантюхина

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

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

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

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Федеральный исследовательский центр

«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Сдано в набор 26.09.2022. Выход в свет 31.10.2022. Бумага типографская. Формат 60 × 84 1/8

Усл. печ. л. 9.8. Уч.-изд. л. 8.7. Тираж 100 экз. Заказ № 316. 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 574.47+582.475.4

ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ И ТАКСАЦИОННАЯ ИНДИКАЦИЯ БОЛОТНЫХ СОСНЯКОВ МЕЖДУРЕЧЬЯ ОБИ И ТОМИ

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

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

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

Поступила в редакцию 16.05.2022 г.

Представлен сравнительный анализ существующих и потенциально возможных методических приемов разграничения зонально-провинциальных объединений лесоболотных и торфяно-болотных комплексов. Показано, что на геоморфологических разностях местоположений в условиях непрерывного взаимодействия с элементами климата, почвами и растительностью осуществляется их относительно автономное развитие во времени и пространстве. На примере северной части междуречья Оби и Томи в соответствии с критериями такой относительной автономности охарактеризованы естественные индикационные вариации таксационной и фитоценотической структуры коренных болотных сосняков и для сопоставления – суходольных. В рядах их современной типологической и морфоскульптурной организации рассмотрены причинно-следственные связи экосистемного разнообразия и продуктивности с водно-минеральными условиями произрастания, однозначно оказывающими влияние на состав возрастных поколений «материнских» древостоев, маломерного подроста и ювенильных групп возобновления. По признакам размерности положительных элементов фитогенного микро- и мезорельефа типизированы крупнобугорковые и подушкообразные поверхности олиго- и мезотрофных сосняков с мшисто-лишайниково-кустарничковой растительностью, в торфяных залежах которых регулярно локализуются мерзлотные водоупоры и ледяные линзы-перелетки. В особо увлажненных эутрофных сосняках с травяно-мшистой и низкотравной растительностью фитогенный рельеф рассмотрен в системе разновысотных, рассеянных и слившихся кочек, а также приствольных бугров, которые образованы каркасами опорно-скелетных корней, драпированных хвойно-листовым опадом, ветошью трав, очесом бриевых (*Bryidae* Engl.) и гипновых (*Hypnales* W. R. Buck et Vitt.) мхов. С учетом этих и ряда других факторов оценивается тренд неоднозначного расселения самосева и подроста сосны (*Pinus* L.) под пологом «материнских» древостоев. Фитоценотическая и таксационная индикация сосняков, основанная на системно-выборочном методе оценки, расширяет представление о сравнительном диапазоне изменчивости структуры как болотных, так и суходольных сосняков, достигших климаксовой или приблизившихся к ней стадий саморазвития.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лесоболотные комплексы, экосистемное разнообразие, фитогенный рельеф, наземная растительность, подрост, самосев.

DOI: 10.15372/SJFS20220501

ВВЕДЕНИЕ

В иерархии ландшафтов таежного биота Западно-Сибирской равнины функционально значимое место занимают лесные, малолесные и безлесные болотные экосистемы, развившиеся на избыточно влажных почвообразующих субстратах эутрофного, мезотрофного, олиго-

трофного и гетеротрофного типов водно-минерального питания. В их современном фитоценотическом разнообразии, пространственных комбинациях вещественного и ботанического составов торфяных залежей наиболее полно отразилась сложная динамика сопряженного развития лесообразовательного, болотообразовательного и торфонакопительного процессов в

голоцене. Относительный гомеостаз природы равнины в значительной степени и сейчас продолжает определяться взаимодействием именно этой триады на фоне глобальных климатогенных флюктуаций (Ильин, 1930; Тюремнов, 1956; Шумилова, 1962; Нейштадт, 1971, 1977; Караваева, 1973; Горожанкина, Константинов, 1978; Глебов, 1988; Бляхарчук, 2000; Лапшина, 2003; Дюкарев, 2005; Васильев, 2007).

Почвенно-гидрологические разности избыточно влажных пространств оказывают вполне очевидное влияние на образование контрастных объединений таежных массивов и разделение их на типы заболоченных (первичных) и болотных (вторичных) лесов (Пьявченко, 1961, 1963а, б; Глебов, 1970). Первые локализуются на сравнительно маломощных торфяных залежах (до 50 см), сохраняя корневыми системами связь с минеральными подстилающими горизонтами или испытывая их активную капиллярную субиригацию. В генерациях болотных лесов такая связь уже утрачена из-за поступательного накопления нередко мощных торфяных пластов (свыше 100 см), установления в них анаэробности, вызывающего корневую гипоксию и ослабление минерального питания деревьев. Таксационная структура, динамика возобновления и продуктивности таких древостоев, видовая насыщенность и густота ярусов напочвенного растительного покрова обычно являются основанием для суждений о стартовых и последующих условиях формирования экосистем и возрастных ступенях достижения ими устойчивого климаксового состояния.

Таким образом, топоэкологические и зонально-провинциальные градиенты равнины обуславливают достаточно широкие возможности территориальной фрагментации лесоболотных комплексов как по относительно консервативным, так и по динамичным индикаторным признакам, поэтому причинно-следственные эффекты взаимоотношений леса и болота здесь носят дискретный, изменчивый характер во времени и пространстве (Западная Сибирь, 1963; Болота..., 1976; Швер, 1976; Малик, 1978; Ефремов, 1985; Земцов и др., 1988; Кузьменко, Смолоногов, 2000; Исследование..., 2012).

Попытки разработать универсальные критерии типизации, районирования и оценки биоресурсного потенциала территории пока не увенчались «идеальным» решением, в отличие от создания ряда относительно специализированных, частных систематизаций и классификационных построений (Крылов, 1898; Ревер-

датто, 1931; Бронзов, 1936; Шумилова, 1951; Пьявченко, 1963а; Шашко, 1967; Кац, 1971; Тюремнов, 1976; Боч, Мазинг, 1979; Бахнов, 1986; Горожанкина, 1986; Коротков, 1994; и др.). Тем не менее в пользу развития перспективной идеи продолжают набираться аргументированные предложения, содержащие элементы методологических подходов к последовательному группированию и оценке географических, типологических, почвенно-гидрологических, биоресурсных, средообразующих, водоохранно-защитных и иных признаков естественного разнообразия лесоболотных комплексов.

В частности, оригинальными с этой точки зрения представляются приемы дробного, географически последовательного анализа развития природы лесоболотной зоны Западно-Сибирской равнины и конструирования на этой основе схематических карт, в свое время предложенные В. И. Орловым (1966, 1968). Они базируются преимущественно на результатах дешифрирования и развернутой интерпретации внemasштабных аэрофотосъемочных материалов, которые позволили модифицировать континуальные границы четырех природных подзон и пяти болотно-торфяных провинций, ранее в предварительном порядке выделенных геоморфологами, географами, почвоведом, геоботаниками, лесоболотоведами и торфоведами.

Некоторые возможности детализации провинциального уровня пространственной организации в свете комплексного подхода к прогнозу динамики природы равнины В. И. Орлов (1966, 1968, 1975) реализовал на примере выделения в ее пределах 10 районов, каждый из которых отражает неодинаковые тенденции взаимного «наложения» лесообразовательного, болотообразовательного и торфонакопительного процессов. В обобщенном виде разномасштабные участки этих районов предложено различать по признакам: а) прогрессивного, удовлетворительного, слабого дренирования и прогрессивного заболачивания лесов; б) прогрессивного, удовлетворительного, слабого дренирования и прогрессивного переувлажнения болот; в) топоэкологической специфики морфоскульптуры речных пойм в районах с преобладающими и слабыми процессами аккумуляции рыхлых минеральных, органо-минеральных и органических отложений.

На этом основании в отдельную группу автор выделил 60 географически крупных секторов равнины с относительно автономными особенностями динамики природы. С одной стороны,

их различия предопределены общей эволюцией рельефа и его локальных форм, выработанных в послеледниковый период, с другой – современной климатической зональностью тепловлагопереноса и радиационного режима, повлиявших на хорологическое разнообразие сопряженных комбинаций лесообразовательного, болотообразовательного и торфонакопительного процессов. В результате констатировано, что на пространствах Сургутского Полесья, Сибирских Увалов, Верхнекетской и Тобольской возвышенностей, Парабельских высот, Вах-Тымской, Тым-Пайдугинской, Кетско-Тымской, Васюганской, Чулымской равнин, Юганской и Надымской низменностей, других относительно автономных образований, включая восточную окраину Западно-Сибирской равнины, эти процессы развиваются исключительно в форме масштабной взаимообусловленности, т. е. по типу покровных лесоболотных и торфогенных «плащей». В современном понимании они входят в активно действующую систему углеродных полигонов глобального значения.

В южных, юго-восточных и юго-западных секторах равнины условия ее геоморфологической расчлененности благоприятствуют формированию менее крупных, неравномерно и умеренно слитных многолесных, малолесных и безлесных торфяных массивов. Они представлены озерково-зыбунными, бугорково-мшистыми, кочкарными, в разной степени выпуклыми торфяниками, грядово-мочажинными, бугристыми и иными морфоскульптурными образованиями, характеризующими хорологическую неоднородность торфяно-болотных комплексов.

В частности, их типичные и локально обособленные варианты рассредоточены на территории относительно автономной по развитию природы и исторически густо облесенной и заболоченной северной части междуречья Оби и Томи. Коренные и производные лесные массивы по разнообразию основных признаков здесь в полной мере соответствуют биогеоценотическому «ядру» зональных сообществ равнинной тайги, поскольку в послеледниковый период формировались в условиях перемежающихся эдафотопов автоморфных, гидроморфных и полугидроморфных ландшафтов.

В числе экологически и ресурсозначимых на междуречье формаций наряду с суходольными лесами развивались и в итоге обособились большие территориальные объединения заболоченных и болотных сосняков. Но функциональные и пространственные различия их современно-

го состояния с научной и хозяйственной точек зрения исследованы еще недостаточно, особенно с прогностических позиций. Отсюда цель настоящей работы заключается в том, чтобы на их примере дополнить известные типологические ряды в части своеобразия современной фитоценотической организации, установить особенности морфометрической изменчивости древостоев с учетом возрастного и жизненного потенциала групп возобновления «материнской» породы. Важно также сопоставить текущую продуктивность коренных и производных сосняков климаксовых стадий развития в связи с разнообразием топоэкологических условий произрастания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В географическом отношении южная оконечность Томской части междуречья выходит к административным границам Кемеровской и Новосибирской областей. Неравномерно расчлененная территория имеет общий уклон на северо-северо-восток. Ее горизонтальную проекцию можно уподобить равнобедренному треугольнику, вершину которого образует устье Томи с закустаренными заболоченными берегами и небольшими островами, а основание – ломаная линия межобластных границ (рис. 1).

Общая площадь анализируемого сектора междуречья более 4420 км². Наибольшее разнообразие рельефа наблюдается на юге, где абсолютные высоты поверхности над уровнем моря достигают 167–195 м (урочище «Калтайский бор»). Срединное пространство междуречья характеризуется холмисто-гравистым рельефом с диапазоном максимальных высот 115–145 м. Поверхность северной трети территории имеет пологоволнистый, менее контрастный рельеф (77–110 м), отражающий ее активное выравнивание в четвертичном периоде под сопряженным воздействием процессов денудации и аккумуляции.

В ледниковый период поверхность северной части междуречья не покрывалась фирновыми полями, граница которых находилась примерно в 500 км севернее Томска (Ильин, 1930; Суслов, 1954; Земцов, 1966; Земцов и др., 1988), поэтому прямое влияние на его геоморфологическое строение здесь оказали лишь мощные потоки талых ледниковых вод, проникавших с юга со стороны Алтая и с севера от границы покровных фирновых полей. Воды приносили

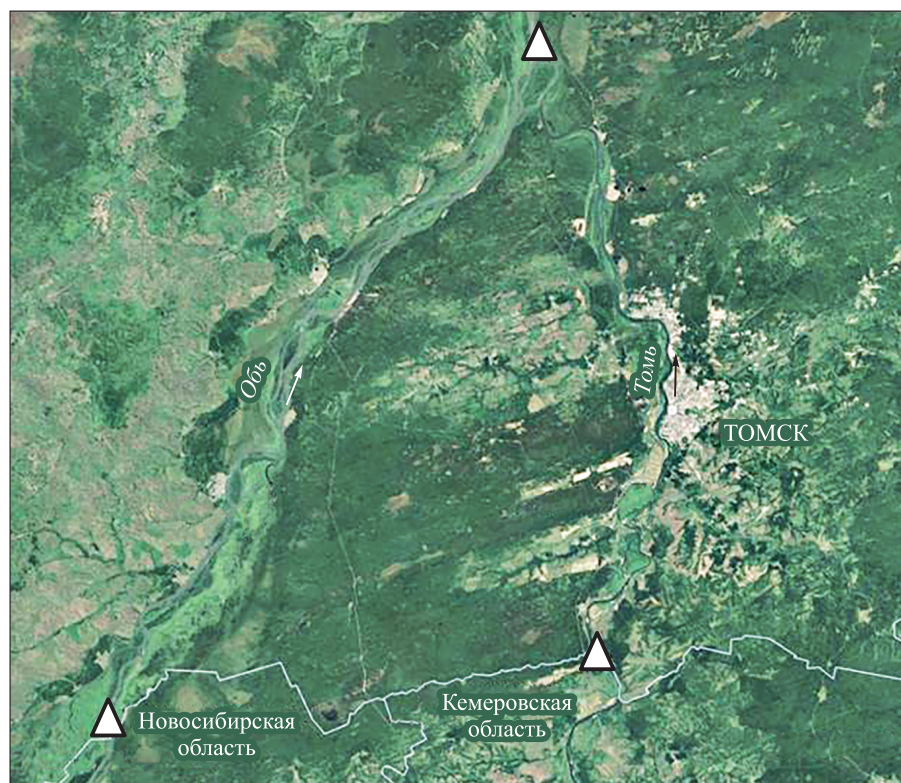


Рис. 1. Междуречье Оби и Томи в пределах Томской области.

хорошо отсортированный и отмытый материал в виде мелкозернистых песков, супесей, реже суглинков и глин, седиментация которых образовала минералогическую основу материнских почвообразующих пород, подстилающих днища современных торфяников.

Для Оби и Томи характерными геоморфологическими разностями являются речные поймы, надпойменные террасы и водораздел, пересекаемые довольно густой сетью таежных рек и узкодолинных ручьев, гидравлически связанных с водоносными горизонтами древних заторфованных ложбин стока, тальвегов, проточных болот и первичных озер. Кроме того, на междуречье диагностируются следы позднейших послеледниковых метаморфозов поверхности в виде большого количества суходольных грив, гряд, бугров, ложбин, незавершенных эрозионных западин и промоин соподчиненных порядков с берегами переменчивой крутизны. В настоящее время все они перемежаются суходольными и избыточно влажными лесами различных типов водно-минерального питания с неравнозначными глубинами, вещественным и ботаническим составами торфяных залежей.

Преобладающая часть лесных массивов междуречья Оби и Томи относится к государственному лесному фонду, издавна находясь в

ведении Тимирязевского лесхоза (ныне лесничества). К началу 90-х годов закрепленная за ним площадь достигала почти 210 тыс. га, что соответствовало более 47.3 % территории междуречья. Причем свыше 55 тыс. га (26.4 %) в фонде занимали лесные, малолесные и безлесные болота (Пьявченко, Сальников, 1968; Паневин, Сальников, 1976). Менее чем за полвека сотрудники существовавшего здесь механизированного леспромпхоза почти полностью вырубili в непосредственной близости от Томска и на большей части междуречья Оби и Томи высокопродуктивные суходольные сосняки, прежде всего Калтайские, Жуковские, Приобские (Гольдин, 1976; Байдин, Паневин, 1985). В итоге леспромпхоз вынужден был прекратить свое существование из-за истощения сырьевой базы. Предпринятая попытка обосновать в перспективе возможное улучшение ресурсного потенциала лесов результатами опытного осушения болот (11.3 тыс. га) не могла решить остроту текущей проблемы по определению. Резкое сокращение на междуречье массивов элитных суходольных сосняков стимулировало в последующие годы проведение эпизодических выборочных рубок в эталонных болотных сосняках, приурочивая заготовку и вывоз древесины к зимнему периоду по промороженным торфяникам, примыкавшим к лес-

ным грунтовым дорогам и усам узкоколейной железной дороги. Тотальное изъятие древесных ресурсов ослабило естественное разнообразие и продуктивность как коренных суходольных, так и избыточно влажных сосняков.

Краткие сведения о торфяных болотах северной части междуречья находим у Г. М. Платонова (1963). По составу эдификаторной растительности и условиям водно-минерального питания он разделил лесные и безлесные болота на три экологических ряда: низинные, переходные и верховые. В каждом из них выделены три классификационные ступени: а) растительные формации, или группы типов леса, б) собственно типы леса, слагаемые группами ассоциаций, в) сами ассоциации. В общей сложности формация болотных сосняков междуречья насчитывала 13 групп ассоциаций, часть из которых (тростниковую, хвощевую) нашими позднейшими исследованиями в «чистом» виде обнаружить не удалось.

Развернутых лесоводственных исследований, которые давали бы сопоставимые представления об особенностях состава, таксационных, морфометрических и возрастных параметрах болотных древостоев, подростов и ювенильных групп возобновления Г. М. Платонов не проводил. Кратко были анализированы напочвенный растительный покров, элементы фитогенного микрорельефа, отчасти стратиграфия и агрохимические показатели торфяных залежей некоторых болот. Он обратил внимание лишь на то, что в целом формация сосняков занимает приоритетное положение практически на большинстве гипсометрических ступеней северного сектора междуречья.

В последующие годы на Томском стационаре Института леса СО РАН были развернуты комплексные биогеоценотические исследования болот и заболоченных лесов сначала в рамках Международной биологической программы и Программы повышения продуктивности лесов, а затем отечественных и зарубежных научных проектов (Пьявченко, 1967; Федотов, 1967; Зырянов, 1973; Глебов и др., 1980; Ефремов, 1987; Глебов, 1988; Ефремов и др., 2005; Ефремов, Ефремова, 2007).

В методическом отношении наши работы в избыточно влажных и суходольных сосняках междуречья носили системно-выборочный характер, направленный на дифференцированное выявление как модальных, так и наиболее продуктивных экосистем, достигших климаксовой стадии саморазвития или приблизившихся к это-

му состоянию. В настоящей работе обсуждается только часть ключевых объектов, размещенных на крупных участках болотных (37) и суходольных (4) сосняков естественного ряда развития, на которых отсутствовали или были минимизированы признаки влияния природно-экзогенных и антропогенных воздействий. Как правило, это удаленные, труднодоступные и мало привлекательные для посещений «дикие» урочища, традиционно охраняемые лесным ведомством.

Исследования велись на пробных площадях, заложенных в координатах топоэкологических профилей «суходол – болото» по диагностированным типам условий местопроизрастания сосняков. Размер площадей варьировал в интервале 0.25–0.75 га и определялся степенью визуального распознаваемого влияния условий произрастания на оригинальность либо «усредненную» типичность структуры и продуктивности конкретной экосистемы. Перечеты древостоев производили по двухсантиметровым ступеням толщины. Длину стволов измеряли высотомерами системы Блюме – Лейсса (Германия) и Suunto (Финляндия). Возраст деревьев устанавливали в камеральных условиях по годичным кольцам древесных кернов, извлекаемых из базальной зоны стволов комплектом буров (13) с рабочей длиной от 10 до 70 см. Для анализа ширины колец с точностью до 0.01 мм применялся стереоскопический бинокулярный микроскоп (Битвинскас, 1974). Последующие расчеты выполнялись по известным в лесной таксации методическим прописям и справочникам (Захаров и др., 1962; Третьяков и др., 1965; Андреева и др., 2002). Типы возрастной структуры древостоев устанавливали по принятым критериям (Петров, 1970; Семечкин, 1970; Вомперский и др., 1982). Количественные и качественные параметры возобновления оценивались по результатам сплошных учетов самосева и подростов на протяженных лентах шириной 1 м, следовавших через пробные площади параллельно друг другу.

В ходе геоботанических описаний выявлялись степень проективного покрытия, ярусность, синузальная структура, эдификаторы и доминанты растительного покрова (Ярошенко, 1961; Александрова, 1964; Методы..., 1971). Эти показатели, с учетом альфа-разнообразия, плотности элементов фитогенного микро- и мезорельефа, обеспечивали выделение групп «верных» ассоциаций и сопутствующих субассоциаций, дававших возможность надежнее диагностировать типы леса. Мощность торфяных отложений определяли буром конструкции Пьявчен-

ко – Штецко. На объектах наших исследований их глубина находилась в пределах 180–680 см. Динамика уровня почвенно-грунтовых вод фиксировалась периодическими замерами в смотровых колодцах.

Названия лесных массивов с преобладающим участием сосновых древостоев приводятся с привязкой к топографическим картам, квартальной лесоустроительной сетке территории, заболоченным участкам частных междуречий и некоторым населенным пунктам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование ботанического и вещественного составов стратиграфических профилей торфяных залежей показало, что распространение коренных и производных сосняков эутрофного, мезотрофного и олиготрофного типов водно-минерального питания избирательно всегда было связано с одновременно протекавшими процессами облесения и торфонакопления в древних эрозионных впадинах и геоморфологических прогибах междуречья. Причем это относится как к речным долинам его террасированной части, так и к вогнутым участкам водораздела, где болота увлажняются атмосферными осадками и выходами грунтовой верховодки. Напорное выклинивание влаги из водоносных горизонтов по откосам торфяных берегов внутриболотных рек и ручьев не является для междуречья редкостью. Это же свойственно уступам склоновых подножий минерального окружения большинства избыточно увлажненных поверхностей на границах «суходол – болото».

В целом на территории произрастания болотных сосняков локальный водосборный эффект создают более 40 рек и крупных ручьев. Наибольшее значение в зарегулированном стоке поверхностных и грунтовых вод северного сектора междуречья имеют реки Жуковка, Еловка, Черная, Кисловка, Уптала, Таган, Киреева, Порос, Кайдаловка, Умна, Кирек, Березовая, Ташлаир, Быстрая и другие с их малыми ручейковыми притоками болотно-озерного и родникового происхождений. В гидрологической разгрузке территории важная роль принадлежит также левобережным старицам и протокам Томи (Иштанская, Бурундук и др.).

Болотные сосняки эутрофного ряда, в силу известных экологических «предпочтений» лесообразующего вида (Орлов, Кошельков, 1971; Ефремов, 1980), исторически тяготеют на междуречье к умеренно дренированным местополо-

жениям с относительно благоприятным для произрастания эдафическим фоном (табл. 1).

В значительной мере он обеспечивается гумусированными торфяными почвами со средней и высокой степенью разложения растительного материала в корнеобитаемых горизонтах (Ефремова, 1992; Ефремова, Аврова, 2014). В годы с нормальной гидрологической обеспеченностью меженный уровень почвенно-грунтовых вод здесь относительно стабилен и находится в диапазоне 35–40 см.

В фитоценотическом отношении разнообразие сосняков ограничено сравнительно небольшим числом растительных ассоциаций как с равномерным, так и мозаичным распределением густоты конкурирующих видов. Их пространственные комбинации образуют многочисленные вариации разнотравных, травяно-кустарничковых и травяно-мшистых групп типов леса преимущественно с участием разреженных ярусов настоящих кустарников. Индикаторами лучших почвенно-гидрологических условий произрастания болотных сосняков служат высокотравные сообщества (70–110 см и более), в которых ведущая роль принадлежит густому экранирующему составу мезофитных и гигрофитных видов. Ежегодно они образуют достаточно плотную надземную фитомассу со 100%-й степенью проективного покрытия почвенной поверхности. По этой причине высокотравные сообщества, во-первых, обладают признаками активного конкурентного исключения, особенно в отношении самосева и других ювенильных групп возобновления сосны. Они удерживают занятые ими экологические ниши неопределенно долгое время, не допуская или существенно ограничивая экспансию инвазионных видов, прежде всего типичных светолюбов. Во-вторых, под пологом высокотравных болотных сосняков обычно формируется равномерно распределенная хвоелистная подстилка мощностью до 5–7 см, нижние горизонты которой плавно переходят в хорошо разложившуюся (35–45 %) торфяную субстанцию черновато-коричневого цвета с охристыми вкраплениями соединений окисного железа и марганца.

Постоянными структурными элементами альфа-разнообразия высокотравного напочвенного покрова в болотных сосняках междуречья являются преимущественно смешанные сообщества в числе до 56–60 видов сосудистых растений, принадлежащих к 31 семейству и 45 родам. Среди них: таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), крапива

Таблица 1. Таксационная структура болотных сосняков эутрофного типа

Число стволов, шт./га	Сумма площадей сечений, м²/га	Полнота	Запас, м³/га	Высота, м		Диаметр, см		Возраст, лет		Подрост, экз./га
				средняя	от–до	средний	от–до	средний	от–до	
417	24.4	0.76	183	16.1	14–22	27.3	14–36	143	78–296	630
513	20.8	0.66	152	15.3	8–17	22.7	8–44	136	67–202	517
286	17.4	0.54	161	15.7	11–23	27.8	10–48	144	82–220	428
547	25.2	0.77	197	16.8	10–24	24.2	12–42	137	55–218	465
443	26.1	0.80	206	17.1	11–25	27.4	12–40	128	60–198	376
519	20.1	0.62	149	16.4	9–21	21.1	8–32	155	58–190	1058
543	26.2	0.80	207	17.3	12–22	24.8	14–38	182	88–246	1140
814	21.6	0.74	142	12.8	11–16	18.4	12–44	191	84–262	1088
606	19.8	0.62	144	15.7	12–22	20.4	10–38	158	93–239	860
442	16.4	0.52	125	16.2	11–21	21.7	10–42	174	80–254	1173
622	26.3	0.81	216	17.0	10–22	23.2	8–40	163	73–277	612
557	20.2	0.63	157	16.6	9–20	21.5	8–36	147	68–224	362
476	26.7	0.84	195	15.4	10–19	26.7	12–46	161	72–238	718

Примечание. С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), К – сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), Е – ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), Л – лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), Б – береза (*Betula* L.).

двудомная (*Urtica dioica* L.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris* L.), дудник низбегающий (*Angelica decurrens* (Ledeb.) B. Fedtsch.), борщевик рассеченный (*Heracleum dissectum* Ledeb.), синюха голубая (*Polemonium caeruleum* L.), щавель конский (*Rumex confertus* Willd.), василисник желтый (*Thalictrum flavum* L.), чистец болотный (*Stachys palustris* L.), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), борец вьющийся (*Aconitum volubile* Pall. ex Koelle), камыш лесной (*Scirpus sylvaticus* L.), вероника длиннолистная (*Veronica longifolia* L.), золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L.), частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.), недотрога обыкновенная (*Impatiens noli-tangere* L.), осоки омская (*Carex omskiana* Meinsh.) и береговая (*C. riparia* Curt.), трост-

ник южный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), вейники пурпурный (*Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin.), незамеченный (*C. neglecta* (Ehrh.) Gaertn., B. Mey. & Schreb.) и тростниковый (*C. arundinacea* (L.) Roth), трищетинник сибирский (*Trisetum sibiricum* Rupr.), дербенник иволистный (*Lythrum salicaria* L.), живокость высокая (*Delphinium elatum* L.), недоселка копьевидная (*Cacalia hastata* (L.) H. Koyama), чемерица Лобеля (*Veratrum lobelianum* Bernh.), страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.), кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth ex Mert.), щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott), гроздовник виргинский (*Botrychium virginianum* (L.) Sw.), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) и некоторые др. травы.

Лесные мхи представлены 9 видами из 7 семейств и 7 родов. Но их спорадические латки

(плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), ритидиадельфус трехгранный (*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.), дикранумы многоножковый (*Dicranum polysetum* Sw.) и буроватый (*D. fuscescens* Turner), гилокомиум теневой (*Hylocomium umbratum* (Ehrh. ex Hedw.) M. Fleisch.), фунария влагомерная (*Funaria hygrometrica* Hedw.), климациум древовидный (*Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber & D. Mohr), политрихумы обыкновенный (*Polytrichum commune* Hedw.) и сжатый (*P. strictum* Brid.) не оказывают существенного влияния на сложение высокотравных сообществ эутрофных сосняков междуречья. С учетом редкого кустарникового яруса из низкорослых ив (*Salix* spp.), рябины (*Sorbus* spp.), бузины (*Sambucus* spp.), крушины (*Frangula* spp.), черемухи обыкновенной (*Prunus padus* L.), жимолости (*Lonicera* spp.), смородины (*Ribes* spp.), малины (*Rubus idaeus* L.), свидины белой (*Cornus alba* L.), можжевельника (*Juniperus* spp.), березы низкой (*Betula humilis* Schrank), а также хамедафны прицветничковой (*Chamaedaphne calyculata* D. Don) и багульника болотного (*Ledum palustre* L.), разбросанных в виде редких куртин и отдельных особей, суммарное разнообразие напочвенного растительного покрова в высокотравной группе древостоев приближается к 90 видам.

На существенно слабее дренированных участках произрастания болотных сосняков уровни почвенно-грунтовых вод даже в межень и сухую осень обычно не опускаются глубже 25–30 см, что указывает на постоянное избыточное увлажнение корнеобитаемых горизонтов. Поэтому торфяная масса в них трансформирована процессами разложения лишь до 18–25 %, обуславливая формирование древостоев меньшей производительности (табл. 1), но с более сложной мозаикой состава и густоты напочвенных сообществ. Большинство из них состоят из индикаторными видами мхов и относительно приземистых (15–60 см) травянистых растений смешанной группы мезофитов, типичных гигрофитов, иногда с участием гидрофитов. Структурное разнообразие этих групп отражает явно контрастное увлажнение положительных и отрицательных элементов фитогенного микро- и мезорельефа, повсеместно развитого на анализируемых площадях. Особо резкие контуры поверхностей невысоких приствольных бугров (40–55 см), слагаемых каркасами опорно-скелетных корней, задрапированных рыхлой хвойно-листовой подстилкой, ветошью трав, оче-

сом бриевых (*Bryidae* Engl.) и гипновых мхов (*Hypnales* W. R. Buck et Vitt), являются наиболее возвышенными и, следовательно, подсушенными мини-экотопами, называемыми коренными жителями «томарами».

В определенном смысле этими же свойствами обладают другие фитогенные образования, гипсометрические микроступени которых находятся выше уровня верховодки в понижениях между кочками и приствольными буграми. Положительные элементы чаще всего рассеяны одиночно, но местами сгущаются в разновысотные и, видимо, разновозрастные когорты или даже сливаются, образуя своеобразные подобию «обособленных» форм лесоболотных парцелл (Дылис, 1978). Отрицательные элементы, будучи в таких сосняках основными собирателями стока поверхностных вод, нередко формируют густую сетку малых сообщающихся промоин и ручейков, впадающих в проточные блюдцеобразные понижения, мочажины и мало-размерные озера с типичными индикаторными гидрофитами – пузырчаткой обыкновенной (*Utricularia vulgaris* L.), ежеголовником прямым (*Sparganium erectum* L. s. l.) и рдестом плавающим (*Potamogeton natans* L.). Иными словами, «пересеченный» тип деятельной поверхности в этих сосняках позволяет отнести их к топким, труднопроходимым лесоболотным бугорникам и закустаренным травяно-мшистым кочкарникам.

Другие локальные факторы оказывают не меньшее влияние на видовую насыщенность, внешний облик и смену сезонных аспектов растительных сообществ в избыточно влажных сосняках. Укажем, к примеру, на типично неравномерную сомкнутость крон деревьев и крупных кустарников, мозаичный характер гидрологической загрузки и разгрузки территорий, включая промерзание и деградацию мерзлоты в торфяных почвах, хаотичную структуру малых уклонов со шлюзующими скоплениями мелких фракций органического материала, эрозийные мини-перепады поверхности болотных массивов и т. п. На этом пестром эдафическом фоне число напочвенных индикаторных видов, определяющих причинно-следственные связи формирования «верных» ассоциаций в увязке с типичным членением поверхности на элементы фитогенного микро- и мезорельефа, заметно превышает аналогичный показатель для группы высокотравных болотных сосняков.

В целом выявляемый состав сосудистых растений здесь ограничивается примерно 128–135 видами из 48 семейств и 76 родов. Среди

них преобладают осоки двутычинковая (*Carex diandra* Schrank), сближенная (*C. appropinquata* Schumacher), седеющая (*C. canescens* L.), дернистая (*C. cespitosa* L.), шаровидная (*C. globularis* L.), топяная (*C. limosa* L.), носатая (*C. rostrata* Stokes), магелланская (*C. magellanica* Lam.) и омская. Из содоминантов и сопутствующих видов выделяются вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), сабельник болотный (*Comarum palustre* L.), кипрей болотный (*Epilobium palustre* L.), вербейник кистецветный (*Naumburgia thyrsiflora* L.), луговик дернистый (*Deschampsia caespitosa* (L.) P. Beauv.), вейники пурпурный и незамеченный, трищети́нник сибирский, камыш лесной, мятлик болотный (*Poa palustris* L.), перловник поникший (*Melica nutans* L.), белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.), триостренник болотный (*Triglochin palustre* L.), пальчатокоренник пятнистый (*Dactylorhiza maculata* (L.) Soó), гудайера ползучая (*Goodyera repens* (L.) R. Br.), тайник яйцевидный (*Listera ovate* (L.) R. Br.), дремлик болотный (*Epipactis palustris* (L.) Crantz), хвощи болотный (*Equisetum palustre* L.), камышковый (*E. scirpoides* Michx.) и зимующий (*E. hiemale* L.), белозор болотный (*Parnassia palustris* L.), калужница болотная (*Caltha palustris* L.), селезеночник обыкновенный (*Chrysosplenium alternifolium* L.), вех ядовитый (*Cicuta virosa* L.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), двулепестник альпийский (*Circaea alpina* L.), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.), ортилия однобокая (*Orthilia secunda* (L.) House), пушица многоколосковая (*Eriophorum polystachyon* Honck.), мерингия бокоцветковая (*Moehringia lateriflora* (L.) Fenzl), зимолобка зонтичная (*Chimaphila umbellata* (L.) W. P. C. Barton), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt), хохлатка крупноприцветниковая (*Corydalis bracteata* (Stephan) Pers), лук черемша (*Allium microdictyon* Prokh.), линнея северная (*Linnaea borealis* L.), ситники жабий (*Juncus bufonius* L.) и нитевидный (*J. filiformis* L.), ожики волосистая (*Luzula pilosa* (L.) Willd.) и мелкоцветковая (*L. parviflora* (Ehrh.) Desv.), проломник нитевидный (*Androsace filiformis* Retz.), княжик сибирский (*Atragene speciosa* L.), фиалка прудовая (*Viola stagnina* Kit.), первоцветы крупночашечный (*Primula macrocalyx* Bunge) и кортузовидный (*P. cortusoides* L.), рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.) и ряд других видов.

Группу листостебельных мхов образуют 34 вида из 18 семейств и 22 родов. Доминиру-

ют томенттипнум блестящий (*Tomenthypnum nitens* (Hedw.) Loeske), аулакомниум болотный (*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr.), гелодиум Бландова (*Helodium blandowii* (F. Weber & D. Mohr) Warnst.), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.), ритидиаделфус трехгранный, дрепанокладусы крючковатый (*Drepanocladus uncinata* (Hedw.) Loeske), глянцеви́тый (*D. vernicosus* (Mitt.) Warnst.), палуделла оттопыренная (*Paludella squarrosa* (Hedw.) Brid.), меезия трехгранная (*Meesia triquetra* (Jolycl.) Ångstr.), скорпидиум скорпионовидный (*Scorpidium scorpioides* (Hedw.) Limpr.), каллиергоны гигантский (*Calliergon giganteum* (Schimp.) Kindb.) и соломенно-желтый (*C. stramineum* (Dicks. ex Brid.) Hedenäs), мниумы средний (*Mnium medium* (Bruch & Schimp.) T. J. Kop.), близкий (*M. affine* (Blandow ex Funck) T. J. Kop.) и цинклидиевидный (*M. cinclidioides* (Huebener) T. J. Kop.), дикранум многоножковый, плевроциум Шребера, климациум древовидный, птилиум гребенчатый (*Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.), сфагнумы оттопыренный (*Sphagnum squarrosum* Crome), Вульфа (*S. wulfianum* Girg.), узколиственный (*S. angustifolium* (C. E. O. Jensen ex Russow) C. E. O. Jensen) и Варнсторфа (*S. warnstorffianum* Russow), политрихумы сжатый и обыкновенный. В дерновинки их сообществ часто вплетаются одиночные и собранные в семейки облиственные стебельки изящного печеночного мха милии изменчивой (*Mylia anomala* (Hook.) Gray). На замшелых валежинах сосновых стволов, кора и древесина которых сильно насыщены болотной влагой, своеобразными темно-зелеными ковриками выделяются плотные слоевища маршанции изменчивой (*Marchantia polymorpha* L.). Нередко они чередуются с крупными бледно-зелеными дерновинками фунарии гигрометрической и рыхлыми группами полии свежей (*Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb.), «вырисовывающимися» контуры наиболее мелких форм почвенной поверхности.

На крупных приствольных буграх, слившихся старых и одиночных отмирающих осоковых кочках, обросших «чулками» болотных мхов, на фрагментированных пятнах лесной подстилки изобилуют разнотелотные синузии эпигейных лишайников (16 видов из 5 семейств). Это обычные лесные виды из родов пельтигера (*Peltigera* Willd.), цетрария (*Cetraria* Ach.), кладония (*Cladonia* Hill ex P. Browne), стереокаулон (*Stereocaulon* Hoffm.). Опава́шая кора усохших стволов и массивных ветвей перестойных

Таблица 2. Таксационная структура болотных сосняков мезотрофного типа

Число стволов, шт./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Полнота	Запас, м ³ /га	Высота, м		Диаметр, см		Возраст, лет		Подрост, экз./га
				средняя	от–до	средний	от–до	средний	от–до	
381	18.4	0.58	129	15.2	9–20	24.8	10–42	188	75–316	1875
398	16.8	0.53	118	15.0	11–21	23.2	12–34	128	74–192	1680
827	23.2	0.75	156	14.4	9–20	18.9	8–34	167	104–298	2034
732	25.8	0.82	183	15.1	11–17	21.2	10–32	179	85–342	2127
804	20.7	0.68	141	14.2	9–16	18.1	8–28	183	90–313	2383
944	20.4	0.67	130	13.7	7–16	16.6	8–26	158	75–236	1616
698	23.9	0.78	164	14.3	8–17	20.9	10–34	190	110–327	2207
607	21.2	0.67	151	15.3	10–17	21.1	12–32	147	96–318	2037
622	24.7	0.81	168	14.1	10–18	22.5	8–34	186	92–322	3104
779	12.3	0.53	56	8.3	5–13	14.2	6–22	154	73–307	2850
433	6.4	0.26	30	8.6	4–10	13.7	6–16	106	58–178	2620
379	6.0	0.22	34	10.4	6–15	14.2	8–18	97	73–208	3175

деревьев в рассматриваемых сосняках часто становится субстратом для некоторых видов эпигейных лишайников из родов уснея (*Usnea* Dill. ex Adans.) и эверния (*Evernia* Ach.). Кора на базальной части стволов березы (*Betula* L.) и осины (*Populus tremula* L.) нередко обрастает лопастными слоевищами видов из рода пармелия (*Parmelia* Ach.) и листоватыми семейками из рода лобария (*Lobaria* (Schreb.) Hoffm.).

Группы болотных сосняков мезотрофного (табл. 2) и олиготрофного (табл. 3) типов водно-минерального питания, в отличие от долинных лесов эутрофного ряда (табл. 1), занимают на водораздельных пространствах междуречья более возвышенные ступени рельефа.

Распространение мезотрофных связано с гидрологически открытыми, в разной степени слабопроточными и полузамкнутыми, а также изолированными местоположениями, которые заключены между песчаными гривами, буграми и их частично денудированными водной эрозией остатками.

Такие болота в большинстве своем имеют равномерно уплотненные, пологонаклонные и

вогнутые поверхности, которые обладают ограниченными условиями активного стока грунтовой верховодки и атмосферных осадков. Стратиграфические профили их торфяных залежей отличаются слоистостью, отражающей периодическую изменчивость ботанического состава и степени разложения в пределах 7–12 %. Вероятно, это связано с влиянием топогенных циклов почвенного увлажнения разной временной протяженности, определяющих в болотных сосняках водораздела модификацию видового состава сообществ и продуктивность торфообразующих растений. В средние по влагообеспеченности годы меженный уровень вод здесь не опускается ниже 30–35 см.

В современной структуре напочвенного покрова мезотрофных сосняков доминируют сфагновые сообщества с участием относительно низкорослых болотных трав, кустарников и кустарничков, некоторых видов лишайников, лесных зеленых и гипновых мхов. При этом разнообразие сообществ и площади выявления адаптированных групп индикаторных видов достаточно четко определяются по контрастным

Таблица 3. Таксационная структура болотных сосняков олиготрофного типа

Число стволов, шт./га	Сумма площадей сечений, м²/га	Полнота	Запас, м³/га	Высота, м		Диаметр, см		Возраст, лет		Подрост, экз./га
				средняя	от – до	средний	от – до	средний	от – до	
2496	14.6	0.98	51	4.7	3–8	8.7	4–22	87	58–183	2755
1096	16.4	0.79	67	7.3	4–11	13.8	10–28	158	82–318	4180
664	26.6	0.87	178	14.2	7–16	22.6	8–46	186	87–378	4356
643	22.7	0.73	163	14.7	8–16	21.2	10–40	202	92–384	3880
572	19.5	0.67	116	11.8	9–14	20.8	14–42	206	108–412	3627
566	26.9	0.92	162	12.3	6–15	24.6	12–38	214	97–403	4124
469	19.1	0.62	129	14.3	12–17	22.7	10–41	184	86–388	3018
510	12.6	0.41	86	14.1	4–16	17.7	6–32	192	110–396	2767
855	11.9	0.43	68	10.8	6–16	13.3	6–22	174	66–402	4216
1106	18.3	0.71	98	9.4	5–13	14.5	6–18	192	88–433	4292
1283	22.1	0.85	119	9.7	4–14	14.8	10–26	143	70–436	5080
792	19.5	0.83	86	8.2	5–13	17.7	8–24	183	87–407	5768

признакам их густоты и приуроченности к разным элементам фитогенного рельефа, которые под пологом леса дифференцированы по степени увлажнения корнеобитаемых горизонтов и освещенности почвенной поверхности. В частности, чистые и смешанные сообщества таких характерных видов, как сфагнумы центральный (*Sphagnum centrale* С. Е. О. Jensen), магелланский (*S. magellanicum* Brid.) и бурый (*S. fuscum* (Schimp.) Н. Klinggr.) чаще занимают теневые площадки под кронами близко соседствующих деревьев, формируя рыхлые «подушки» высотой до 60–70 см, диаметром до 2–3 м. Вдоль подножия они опоясаны густыми зарослями хамедафны прицветничковой, подбела обыкновенного (*Andromeda polifolia* L.), багульника болотного, березы карликовой (*Betula nana* L.), голубики обыкновенной (*Vaccinium uliginosum* L.), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.).

Во многих случаях сфагновые подушки с сопутствующим ярусом кустарников и кустарничков сливаются в своеобразные фитоценотические полигоны, индивидуальные площади которых достигают более 200–300 м². Особенно

это характерно для густых куртин старых сосен, представляющих фрагменты «рослых» рямов. По-видимому, именно под сомкнутыми кронами деревьев устанавливается наиболее благоприятный световой режим для вышеуказанных видов тенелюбивых сфагновых мхов. В составе их сообществ отмечены синузии некоторых видов рыхлодерновинных и корневищных осок тонкоцветной (*Carex tenuiflora* Wahlenb.), плевеловидной (*C. loliacea* L.), магелланской, двудомной (*C. dioica* L.) и малоцветковой (*C. pauciflora* Lightf.), а также очеретника болотного (*Rhynchospora alba* (L.) Vahl), княженики арктической (*Rubus arcticus* L.), костяники (*Rubus saxatilis* L.), морошки (*Rubus chamaemorus* L.), грушанок круглолистной и средней (*Pyrola media* Sw.), ортилии однобокой, росянки круглолистной (*Drosera rotundifolia* L.), хвощей камышкового и зимующего. Обычны многочисленные вкрапления листоватых и кустистых лишайников – пельтигеры пупырчатая (*Peltigera aphthosa* (L.) Willd.) и собачья (*P. canina* (L.) Willd.), кладонии звёздчатая (*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda) и лесная (*C. sylvatica*

auct.), цетрария исландская (*Cetraria islandica* (L.) Ach.), латки лесных зеленых и гипновых мхов (плевроциум Шребера, дикранум многоножковый, политрихум сжатый, аулакомниум болотный, томентгипнум блестящий). Здесь же присутствуют группы молодого возобновления сосны и подроста старших возрастов, численный состав и жизненное состояние которых не всегда благонадежны.

Наряду с контрастной структурой и относительно небольшим видовым разнообразием выше анализированных сообществ, занимающих только некоторые участки мезотрофных сосняков, широкое распространение получили более обводненные сфагновые пейзажи на плоских и слабоогнутых поверхностях с блюдами стоячей атмосферной верховодки и сфагново-гипновых зыбунов. Такие местоположения в болотных сосняках иногда пересекаются извилистыми и обычно узкими осоково-кустарничково-мшистыми веретьями, пригодными для относительно безопасного прохода. У коренных жителей они получили название «перебеги». Это участки сравнительно низкорослых сосняков малой и средней полноты с неравномерно разбросанными очагами возобновления «материнской» породы. Здесь на осветленных разрывах и небольших лесных луговинах основу напочвенного покрова составляют моховые сообщества, которые экранируются пятнами кустарничков и ярусом гигрофитного разнотравья переменной густоты и видового состава. Под кронами деревьев, особенно в пределах приствольных кругов, формируются контуры зимнего некроподиума в виде массы опавшей хвои и мелких веточек. Здесь роль трав в проективном покрытии резко ограничена в пользу чистых и смешанных дерновинок сфагновых и гипновых мхов, иногда с участием ювенильных групп «материнского» возобновления.

Таким образом, определяющее значение в проективном покрытии наиболее влажных сосняков мезотрофного типа имеют сфагновая, гипновая, сфагново-гипновая, сфагново-осоковая, сфагново-разнотравная и кустарничково-сфагновая группы ассоциаций. Характерными видами в них являются сфагнумы балтийский (*Sphagnum balticum* (Russow) C. E. O. Jensen), узколиственный, мощный (*S. robustum* (Russow)), тупой (*S. obtusum* Warnst.), Гиргензона (*S. girgensohnii* Russow), лесной (*S. nemoreum* Scop.), Варнсторфа, заостренный (*S. apiculatum* H. Klinggr.), Вульфа, красноватый (*S. rubellum* Wilson). Образующими видами гипново-зеле-

номошных ассоциаций служат томентгипнум блестящий, аулакомниум болотный, гелодиум Бландова, каллиергон соломенно-желтый, дрепанокладусы бесколечковый (*Drepanocladus exannulatus* (Bruch et al.) Warnst.) и плавающий (*D. fluitans* (Hedw.) Loeske), политрихумы сжатый, обыкновенный и стройный (*Polytrichum gracilifolium* (Besch.) Kindb.). По сравнению со сплошным проективным покрытием эпигейных мхов, травянистый ярус переувлажненных сосняков заметно варьирует по густоте, но он не менее разнообразен в видовом отношении. Преобладающий аспект летнего травостоя здесь образуют, прежде всего, чистые и смешанные сообщества осок, вейников и ряда других групп растений, толерантных к произрастанию как на нейтральных, так и кислых торфяных почвах. С разной степенью обилия в сложении эдификаторных сообществ принимают участие осоки носатая, волосистоплодная (*Carex lasiocarpa* Ehrh.), двусемянная (*C. disperma* Dewey), топяная, шаровидная, седеющая, сближенная, двудомная, двутычинковая, вздутоносная (*C. rhynchophylla* C. A. Mey.), малоцветковая, лисья (*C. vulpina* L.) и дернистая, вейники незамеченный, тростниковый, седоватый (*Calamagrostis lanceolata* (Weber) Roth) и пурпурный, луговик дернистый, трищетинник сибирский, пушицы влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), многоколосковая (*E. polystachyon* L.), камыш лесной, триостренник болотный, шейхцерия болотная (*Scheuchzeria palustris* L.), вахта трехлистная, хвощ болотный, сабельник болотный, подмаренники топяной (*Galium uliginosum* L.) и болотный (*G. palustre* L.).

Монотонное однообразие болотных пейзажей на лесных луговинах и низкорослых «рямных» перелесках обычно оживляется синузиями цветущей вахты, мытников, белокрыльника, сабельника и видов из семейства орхидных – любки двулистной (*Platanthera bifolia* (L.) Rich.), кокушника комарникового (*Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br.), пальчатокоренников пятнистого и балтийского (*Dactylorhiza baltica* (Klinge) Nevski), ятрышника шлемоносного (*Orchis militaris* L.), глянцилистника Лёзеля (*Liparis loeselii* (L.) Rich.), тайника яйцевидного, дремлика болотного.

Таким образом, в формировании напочвенных сообществ мезотрофных сосняков между-речья Оби и Томи принимают участие не менее 60–65 видов сосудистых растений из 26 семейств и 33 родов. Группа мохообразных растений насчитывает 24 вида из 11 семейств и

12 родов; лишайников – 7 видов из 3 семейств и 3 родов.

Разнообразие морфоскульптурных портретов олиготрофных сосняков (табл. 3) в значительной мере обусловлено их пространственной приуроченностью к участкам с разной степенью атмосферного увлажнения на дифференцированных поверхностях торфяных болот. Во-первых, характерные в таксационном отношении разновозрастные древостои с перестойными семенниками сосредоточены на относительно дренированных выпуклых торфяниках, обладающих усеченно-конусовидными, куполообразными, уплощенными, асимметричными и смешанными формами образующих поверхностей. По этим признакам с некоторой долей визуальной погрешности диагностируются местоположения генетических центров начальных этапов торфообразования и последующего облесения. Это показала инструментальная нивелировка образующих поверхностей торфяных залежей на трех ключевых объектах. На нивелировочных профилях наиболее выпуклые участки всегда располагались выше нулевых границ торфяных залежей на 1.5–2.1–3.6 м. При этом мощность торфяных залежей составляла соответственно 2.8–3.7–5.4 м.

В средние по обеспеченности атмосферным осадкам годы меженные уровни вод в сосняках на выпуклых олиготрофных торфяниках держатся на глубине 30–40 см, но в маловодные годы они могут опускаться до 65–70 см, вызывая заметный дефицит влажности в торфяной почве для корневых систем древостоев и растительного покрова, слагаемого преимущественно гигрофитными мхами.

В теплые сезоны года сток атмосферных осадков по уклонам протяженных поверхностей, всегда дифференцированных на малые формы рельефа, направлен к границам болот с суходолами. Здесь они образуют дискретные пояса стоячей верховодки и разжиженного торфа, поверхность которых обычно затянута топяными видами сфагновых мхов, осок, пушиц, приствольными подушками гипновых мхов с ярусом багульника, хамедафны и карликовой березы. В многоводные годы по редким эрозийным промоинам в минеральных берегах, особенно при снеготаянии и в раннелетний период, наблюдается частичная гидрологическая разгрузка обводненных поясов. В итоге устанавливаются неоднозначные сезонные колебания уровней атмосферной верховодки на возвышен-

ных ступенях выпуклых торфяников, их склонах и на контактных с суходолами окрайках.

По-видимому, фактор активных гравитационных перепадов уровня атмосферной верховодки на выпуклых участках обуславливает своеобразный эффект локального «самоосушения» олиготрофных сосняков. Тем не менее в таких местах образуются лишь маломерные насаждения, иногда средней полноты, а ксероморфные признаки деревьев указывают на лимитирующие условия произрастания. Это связано прежде всего с дефицитом элементов минерального питания и высоким содержанием органических кислот в почвенных растворах. На склонах сосна чаще всего образует редины обособленных куртин низкорослых деревьев, чередующихся с малолесными гетеротрофными комплексами «рямового» облика. Этим участкам присущи особо контрастные по форме, высоте и густоте объединения «подушкообразных» положительных элементов фитогенного рельефа. Они слагаются мортмассой смешанных сообществ сфагновых и гипновых мхов, кустарничков и гигрофитного разнотравья, распределенных в контурах сложной мозаики почвенного увлажнения и экранирования древесным пологом.

Вторая гипсометрическая разность местоположений олиготрофных болот, поросших сосняками, характеризуется бессточными, равномерно вогнутыми либо местами слабонаклонными поверхностями, обращенными в сторону суходолов. Морфоскульптурное своеобразие этим массивам придают малые, средние и крупные бугорковые формы фитогенного рельефа, разделенные избыточно влажными осоково-сфагновыми и сфагново-пушицевыми луговинами. Высота первых 30–50, вторых 60–90, третьих 100–140 см. Индивидуальная изменчивость площади бугорковых образований колеблется в широких пределах – от 5–6 до 45–70 м² и более. Края бугров имеют в основном пологие скаты. Но у наиболее крупных по высоте и площади бугорковых образований вдоль кромки секторов южной экспозиции встречаются обрывистые, резко контурные и комковато-неровные края откосов. На их зачищенных стенках обнаруживаются слоистые структуры, диагностирующие разную степень трансформации органической субстанции сфагновых, сфагново-кустарничковых и сфагново-осоковых торфов.

При бурении наиболее крупных бугров даже в конце вегетационного периода (сентябрь–октябрь) совсем не редко на глубине 65–80 см фиксируются спайные прослойки мерзлого торфа,

местами содержащие рыхлые линзы чистого льда. Ниже они контактируют с холодно-талыми слоями подстилающей залежи. Вполне очевидно, что часть из них являются перелетками. После зимнего промерзания они долго сохраняются под изолирующим влиянием плотного сфагнового очеса, густого яруса ксерофитных кустарников и кустарничков, слежавшихся пластов органогенного материала, обычно включающего остатки древесины и коры сосны.

Таким образом, в принципе есть некоторые основания полагать, что бугорковые комплексы плоских бессточных и слабо проточных олиготрофных болот в определенном смысле, вероятно, могут служить индикаторами эмбриональных стадий зарождения выпуклых форм торфяников, местоположение которых на междуречье практически полностью связано с атмосферным типом водно-минерального питания. Этому благоприятствует сочетание ряда факторов, из которых определяющим является промерзание торфяных залежей. Обычно оно сопровождается неоднозначным локальным пучением элементов микро- и мезорельефа на фоне неравномерного распределения снежного покрова ветровыми передувками. Как раз на это и указывают варианты глубины залегания мерзлых горизонтов торфа в разнотипных бугорковых образованиях, зрелые формы которых обычно заняты куртинами старовозрастных деревьев и подростом болотных морфотипов сосны (рис. 2).

Наряду с морфоскульптурным своеобразием микро- и мезорельефа олиготрофных сосняков, видовая насыщенность их растительного покрова также заметно отличается от состава фитоценозов большинства, казалось бы, схожих по таксационным признакам древостоев мезотрофного типа. Это связано главным образом с бо-

лее жесткими лимитирующими условиями произрастания, определившими резкое снижение обилия групп индикаторных видов, особенно из семейств осоковых (Cyperaceae Juss.), злаковых (Poaceae Barnhart), орхидных (Orchidaceae Juss.), мареновых (Rubiaceae Juss.) и некоторых других. В то же время в проективном покрытии существенно возрастает роль кустарниково-кустарничкового яруса, ксероморфные представители которого (багульник, хамедафне, голубика, березы карликовая и низкая, подбел, брусника, черника, зимолубка) сформировали горизонт экранирующего доминирования над сплошными мохово-лишайниковыми коврами.

Подушкообразные и бугорковые формы напочвенного рельефа занимают до 75–80 % поверхности олиготрофных сосняков. Их основу составляют рыхлые дерновины трех видов сфагновых мхов – бурого, центрального и магелланского, часто с примесью кустистых и листоватых лишайников. Влажные понижения между подушками и бугорками заняты другими видами сфагновых мхов – узколистным, Вульфа, балтийским, красноватым, лесным, Гиргензона, а также латками некоторых зеленых и гипновых мхов, среди которых густыми желто-зелеными и темно-зелеными дерновинками обычно обособляются красивые бриевые мхи – поля сфагновая (*Pohlia sphagnicola* (Bruch & Schimp.) Broth) и поникшая (*P. nutans* (Hedw.) Lindb.).

Группа травянистых растений представлена негустыми синузиями морощки, костяники, осок магелланской, круглой, дернистой, двудомной, топяной с примесью пушицы влажной. Рассеянно встречаются линея северная, хвощи зимующий, камышковый, лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), вахта, пальцекорники, дифазияструм уплощенный (*Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub), голокучник обыкновен-



Рис. 2. Типичные бугорковые образования с куртинами болотных морфотипов сосны обыкновенной.

Таблица 4. Таксационная структура суходольных сосняков

Число стволов, шт./га	Сумма площадей сечений, м²/га	Полнота	Запас, м³/га	Высота, м		Диаметр, см		Возраст, лет		Подрост, экз./га
				средняя	от – до	средний	от – до	средний	от – до	
1. Сосняк зеленомошно-лишайниково-брусничный: 10С; Калтайский бор; супесь										
495	37.9	1.04	436	25.7	21–31	31.2	12–52	167	103–353	1854
2. Сосняк зеленомошно-бруснично-купеновый: 10С ед. К, Б; Головинский бор; супесь										
518	35.9	0.98	420	26.4	22–30	29.7	14–46	148	96–314	1947
3. Сосняк зеленомошно-бруснично-осочковый: 10С ед. К.; Никольский бор; супесь										
487	31.7	0.88	354	24.8	19–28	28.8	14–44	153	108–342	2183
4. Сосняк зеленомошно-бруснично-карагановый: 10С ед. Б; Жуковский бор; супесь										
503	42.0	1.15	462	25.2	22–31	32.6	10–54	136	92–337	2022

венный (*Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman), седмичник европейский, зимнезеленые кустарнички – грушанки круглолистная и малая (*Pyrola minor* L.), зимюлька зонтичная, стелющиеся полукустарнички водяника черная (*Empetrum nigrum* L.), клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.) и мелкоплодная (*O. microcarpus* (Turcz. ex Rupr.) Schmalh.). Дерновины сфагновых, сфагново-зеленомошных, сфагново-гипновых подушек и бугорков пестрят семейками кустистых, палочковидных и булавовидных светло-серых кладоний, лентовидных слоевищ буроватых цетрарий. На трухлявых валежинах, обросших мхами, чаще всего можно встретить обособленные латки характерных для влажных сосняков листоватых пельтигер и группы печеночных мхов – маршанции многообразной (*Marchantia polymorpha* L.) и милии изменчивой.

Сравнительной особенностью коренных суходольных сосняков климаксовой и приближенных к ней стадий саморазвития является достаточно однообразная видовая насыщенность и, следовательно, во многом схожая система условий формирования напочвенного покрова (табл. 4).

Она обусловлена иной спецификой роста и таксационных параметров высокопродуктивных древостоев на минератрофном эдафическом фоне песчаных и супесчаных субстратов по пересеченным пространствам междуречья. Как следствие, абсолютно контрастные сообщества сосняков распространены значительно реже и только выделами малых размеров на вогнутых, лучше увлажняемых элементах рельефа с признаками начальных этапов заболачивания суходолов. В напочвенном покрове здесь сходятся серии зеленомошных, зеленомошно-лишайниковых, зеленомошно-брусничных, бруснично-черничных, папоротниково-разнотравных и некоторых других групп ассоциаций, близких по

составу входящих видов как с высокой, так и умеренной степенью проективного покрытия в зависимости от меры почвенного увлажнения.

Сообщества травяного яруса с разным сезонным обилием образуют смешанные комбинации майника двулистного, седмичника европейского, кислицы обыкновенной, плауна булабовидного (*Lycopodium clavatum* L.), дифазиаструма уплощенного, диплазиума сибирского (*Diplazium sibiricum* (Turcz. ex Kunze) Sa. Kurata), орляка обыкновенного, щитовника распростертого (*Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenkins et Jermy), голокучника трехраздельного (*Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman), любки двулистной, гудайеры ползучей, осоки большехвостой (*Carex macroura* Meinsh.), купены душистой (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce), хвощей зимующего, лесного и камышкового, прострела раскрытого, сон-травы (*Pulsatilla patens* (L.) Mill.), подорожника ланцетолистного (*Plantago lanceolata* L.), перловника поникшего, вейников наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) и тупочешуйного (*C. obtusata* Trin.), кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.), купальницы азиатской (*Trollius asiaticus* L.), ветреницы лесной (*Anemone sylvestris* L.), смолевки поникающей (*Silene nutans* L.), княжика сибирского, борца вьющегося, гвоздики пышной (*Dianthus superbus* L.), володушки золотистой (*Bupleurum aureum* Fisch. ex Hoffm.), марьянника лугового (*Melampyrum pratense* L.), душицы обыкновенной, ириса русского (*Iris ruthenica* Ker Gawl.), подмаренника бореального (*Galium boreale* L.), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), фиалок опушенной (*Viola hirta* L.) и одноцветковой (*V. uniflora* L.), кошачьей лапки двудомной (*Antennaria dioica* (L.) Gaertn.), тысячелистника обыкновенного, зопника клубневого (*Phlomis tuberosa* (L.) Moench), золотарника обыкновенного, пижмы

обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), медуницы мягчайшей (*Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem.), вероники беловойлочной (*Veronica incana* L.), ожики волосистой, вороньего глаза четырехлистного (*Paris quadrifolia* L.), чины лесной (*Lathyrus sylvestris* L.), скабиозы бледно-желтой (*Scabiosa ochroleuca* L.), башмачков пятнистого (*Cypripedium guttatum* Sw.) и крупноцветкового (*C. macranthos* Sw.), репешка волосистого (*Agrimonia pilosa* Ledeb.), некоторых низкорослых видов мятлика, вики, лапчатки, полыни, первоцвета и других травянистых растений. Группу кустарничков и полукустарничков обильно представляют брусника, черника, костяника, грушанки круглолистная и малая, зимлюбка зонтичная, линнея северная, значительно реже – ортилия однобокая и одноцветка обыкновенная (*Moneses uniflora* (L.) A. Gray). Нередко в мохово-лишайниковых сообществах обнаруживаются обособленные синузии стелющегося кустарничка водяники черной. В достаточно редком кустарниковом ярусе заметной встречаемостью выделяются лишь шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), свидина белая (*Swida alba* (L.) Opiz), береза низкая и карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.). Причем последний вид особенно разрастается во влажных зеленомошно-брусничных, черничных и травяно-мшистых депрессиях между супесчаными и песчаными гривами, буграми, грядами, большинство из которых имеют боковые откосы малой и средней крутизны, также занятые коренными сосняками.

Диапазоны изменчивости таксационных показателей болотных и суходольных сосняков существенно различаются в целом. В таком же качестве пребывают группировки пробных площадей, разьединенных по типам водно-минерального питания и индикаторным признакам фитоценологических комплексов. Реальные, или натурные, измерения «от – до» всегда имеют больший размах по сравнению с расчетными средними значениями одних и тех же таксационных показателей. Но практически в равной степени они позволяют констатировать хорологию и биогеоценологическую обособленность экспериментально выделенных и сравниваемых природных образований (табл. 1–4).

Сопоставление возобновительного процесса в сосняках показывает, что наименьшее суммарное число (265–1173 экз./га), но более благонадежное жизненное состояние маломерного подроста (до 1–1.5 м) и самосева «материнской» породы отмечаются в травянистых фитоцено-

зах болот эвтрофного ряда водно-минерального питания. Соответственно, его максимальное количество, по большей части в угнетенном, ослабленном жизненном состоянии, характерно для выпуклых сфагново-лишайниково-кустарничковых поверхностей олиготрофных (2755–5768 экз./га) и вогнутых поверхностей сфагново-гипновых участков мезотрофных сосняков (1616–3175 экз./га). Промежуточное положение между ними занимают исследованные экосистемы суходольных древостоев (1854–2183 экз./га). Поэтому в приведенной выборке возобновления просматриваются, во-первых, черты полиморфизма сосны как лесообразующего вида. Во-вторых, вполне очевидна пространственная неодинаковость так называемых «возобновительной спелости почвы», «возобновительной семенной спелости» и нерегулярной урожайности источников семян. В-третьих, существуют разные таксационные параметры «материнских древостоев», которые преобразуют естественный ход конкурентного исключения молодых поколений. Прямое и опосредованное влияние этих и других факторов на возрастные группы возобновления в сосняках рассматривали многие исследователи (Морозов, 1931; Корчагин, 1960; Мелехов, 1960; Некрасова, 1960; Анучин, 1962, 1972; Ирошников, 1977; Черепнин, 1980; и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основные признаки фитоценологической автономности сосняков северного предела междуречья Оби и Томи в контрастных эколого-генетических рядах гидроморфного и суходольного условий произрастания во многом расходятся. В первую очередь это относится к разным составам доминирующих, эдификаторных и активно сопутствующих видов, а также трендам формирования характерных, но явно ограниченных по продуктивности древесных сообществ в ходе заселения ими конкретных эдафотопов. В суходольных типах сосняков, в отличие от болотных типов, лесообразовательный процесс не связан с торфонакопительным. Это исключает гипоксию корневых систем деревьев, а также образование специфического спектра избыточно влажных органогенных почв и консервацию растительного материала различной степени разложения, ботанического и химического составов. Морфометрические параметры сравниваемых древостоев, как и пейзажей напочвенной растительности, отражают их

относительную автономность, вызванную преимущественно пестротой конкретных условий произрастания. Фитоценотическая и таксационная индикация сосняков, основанная на системно-выборочном методе оценки, не могла в пределах северной части междуречья Оби и Томи полностью охватить их разнообразие во всех деталях. Тем не менее в объеме произведенной выборки такая индикация в определенной степени расширяет представление о сравнительном диапазоне изменчивости структуры как болотных, так и суходольных сосняков, достигших климаксовой или приблизившихся к ней стадий саморазвития. В болотных сосняках отмечено наличие мезотрофного и олиготрофного типов водно-минерального питания перестойных, но вполне здоровых семенников, возраст которых находится далеко за пределами 300–400 лет. С одной стороны, это свидетельствует о консервативной жесткости условий произрастания, с другой – о «плюсовых» качествах их фенотипической, а возможно и генетической пластичности в ответных реакциях на воздействие неблагоприятных факторов среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова В. Д. Изучение смен растительного покрова // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 300–447.
- Андреева Е. Н., Баккал И. Ю., Горшков В. В., Лянгузова И. В., Мазная Е. А., Нешатаев В. Ю., Нешатаева В. Ю., Ставрова Н. И., Ярмишко В. Т., Ярмишко М. А. Методы изучения лесных сообществ. СПб: Изд-во СПбГУ, 2002. 240 с.
- Анучин Н. П. Лесоустройство. М.: Сельхозиздат, 1962. 568 с.
- Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Гослесбумиздат, 1972. 512 с.
- Байдин Н. П., Паневин В. С. Развитие производительных сил и проблемы рационального использования лесосырьевых ресурсов в Томской области // Актуальные проблемы лесного комплекса Сибири: Материалы Всесоюз. конф. СО АН СССР «Развитие производительных сил Сибири и задачи ускорения научно-технического прогресса». Секция № 9: Лесной комплекс. Красноярск: Краснояр. филиал СО АН СССР, 1985. С. 205–212.
- Бахнов В. К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 193 с.
- Битвинскас Т. Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
- Бляхарчук Т. А. История растительности юго-востока Западной Сибири в голоцене по данным ботанического и спорово-пыльцевого анализа торфяных отложений // Сиб. экол. журн. 2000. № 5. С. 659–668.
- Болота Западной Сибири: их строение и гидрологический режим. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 447 с.
- Боч М. С., Мазинг В. В. Экосистемы болот СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 188 с.
- Бронзов А. Я. Гипновые болота на южной окраине Западно-Сибирской равнинной тайги // Почвоведение. 1936. № 2. С. 224–245.
- Васильев С. В. Лесные и болотные ландшафты Западной Сибири. Томск: Изд-во науч.-тех. лит-ры, 2007. 276 с.
- Вомперский С. Э., Лебков В. Ф., Иванов А. И. Таксационное строение болотных сосняков // Биогеоценологическое изучение болотных лесов в связи с опытной гидромелиорацией. М.: Наука, 1982. С. 57–94.
- Глебов Ф. З. Некоторые черты природы болотных и заболоченных лесов // Вопросы лесоведения. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. Т. 1. С. 262–282.
- Глебов Ф. З. Взаимоотношения леса и болота в таежной зоне. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 183 с.
- Глебов Ф. З., Ефремов С. П., Ускова Л. М. Проблемы гидрорелесомелиорации в Западной Сибири // Материалы Всесоюзной конференции СО АН СССР по развитию производительных сил Сибири. Секция «Проблемы лесопромышленного комплекса Сибири». Новосибирск; Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1980. Ч. 1. С. 147–160.
- Гольдин Д. И. Развитие лесосоушительных работ в Томской области // Теория и практика лесного болотоведения и гидрорелесомелиорации. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1976. С. 113–119.
- Горожанкина С. М. Опыт классификации биогеоценозов эколого-генетического ряда «лес-болото» // Гидроморфные лесоболотные экосистемы. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1986. С. 5–17.
- Горожанкина С. М., Константинов В. Д. География тайги Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 190 с.
- Дылис Н. В. Основы биогеоценологии: Учеб. пособие для геогр. спец. ун-тов. М.: Изд-во МГУ, 1978. 152 с.
- Дюкарев А. Г. Ландшафтно-динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири. Томск: Изд-во науч.-тех. лит-ры, 2005. 284 с.
- Ефремов С. П. Экологическая обусловленность морфогенеза сосны обыкновенной на болотах // Проблемы лесной биогеоценологии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. С. 140–155.
- Ефремов С. П. Научные и хозяйственные предпосылки комплексного освоения болот и заболоченных лесов Западной Сибири // Актуальные проблемы лесного комплекса Сибири: Материалы Всесоюз. конф. СО АН СССР «Развитие производительных сил Сибири и задачи ускорения научно-технического прогресса». Секция № 9: Лесной комплекс. Красноярск: Краснояр. филиал СО АН СССР, 1985. С. 181–191.
- Ефремов С. П. Пионерные древостой осушенных болот. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987. 249 с.
- Ефремов С. П., Ефремова Т. Т. Типологические спектры и углеродный пул лесоболотных экосистем Западной Сибири // Лесоведение. 2007. № 6. С. 80–93.
- Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Блоитен В. Биологическая продуктивность и углеродный пул фитомассы лесных болот Западной Сибири // Сиб. экол. журн. 2005. № 1. С. 29–44.

- Ефремова Т. Т. Структурообразование в торфяных почвах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 191 с.
- Ефремова Т. Т., Аврова А. Ф. Оценка местообитаний болотных сосняков южной тайги Западной Сибири в целях гидромелиорации // Лесоведение. 2014. № 3. С. 31–38.
- Западная Сибирь. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 488 с.
- Захаров В. К., Труль О. А., Мирошников В. С., Ермаков В. Е. Лесотаксационный справочник. Минск: Гос. изд-во БССР, 1962. 368 с.
- Земцов А. А. Тектонический фактор в развитии рельефа центральной части Западно-Сибирской низменности // Вопросы географии Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1966. Т. 6. С. 66–72.
- Земцов А. А., Мизеров Б. В., Николаев В. А., Суходровский В. Л., Белецкая Н. П., Гриценко А. Г., Пилькевич И. В., Синельников Д. А. Рельеф Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 191 с.
- Зырянов Д. А. Гидрологический режим лесных болот Томского стационара в 1969 г. // Комплексная оценка болот и заболоченных лесов в связи с их мелиорацией. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. С. 95–103.
- Ильин Р. С. Природа Нарымского края // Материалы по изучению Сибири. Томск: Изд. Том. отд-ния об-ва изуч. Сибири и ее производ. сил, 1930. Т. 2. 335 с.
- Ирошников А. И. Полиморфизм хвойных Сибири // Проблемы лесоведения Сибири. М.: Наука, 1977. С. 98–123.
- Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота. Интеграционные проекты СО РАН. Вып. 38 / под ред. М. В. Кабанова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 243 с.
- Караваева Н. А. Почвы тайги Западной Сибири. М.: Наука, 1973. 167 с.
- Кац Н. Я. Болота земного шара. М.: Наука, 1971. 295 с.
- Коротков И. А. Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В. А. Алексеева и А. Бёрдси. Красноярск: ВЦ СО РАН, 1994. С. 29–47.
- Корчагин А. А. Методы учета семеношения древесных пород и лесных сообществ // Полевая геоботаника. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 2. С. 41–132.
- Крылов П. Н. Тайга с естественно-исторической точки зрения // Научные очерки растительности Томского края: Сб. публ. лекций, организованных Западно-Сибирским с.-х. об-вом. Томск, 1898. С. 14–23.
- Кузьменко Е. И., Смолоногов Е. П. Лесные экосистемы средней и южной тайги Западно-Сибирской равнины (структура и пространственно-временная динамика). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 218 с.
- Лапина Е. Д. Флора болот юго-востока Западной Сибири. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. 294 с.
- Малик Л. К. Гидрологические проблемы преобразования природы Западной Сибири. М.: Наука, 1978. 180 с.
- Мелехов И. С. Рубки и возобновление леса на Севере. Архангельск: Обл. кн. изд-во, 1960. 201 с.
- Методы выделения растительных ассоциаций: Сб. статей. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1971. 256 с.
- Морозов Г. Ф. Учение о лесе. М.; Л.: Сельхозгиз, 1931. 438 с.
- Нейштадт М. И. Мировой природный феномен – заболоченность Западно-Сибирской равнины // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1971. № 1. С. 21–34.
- Нейштадт М. И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 39–47.
- Некрасова Т. П. Плодоношение сосны в Западной Сибири. Новосибирск: Обл. кн. изд-во, 1960. 132 с.
- Орлов А. Я., Кошельков С. П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 324 с.
- Орлов В. И. К методике составления карты динамики природы тайги Западной Сибири // Вопросы географии Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1966. Т. 6. С. 86–102.
- Орлов В. И. Ход развития природы лесоболотной зоны Западной Сибири. Л.: Недра, 1968. 172 с.
- Орлов В. И. Анализ динамики природных условий и ресурсов. М.: Наука, 1975. 275 с.
- Паневин В. С., Сальников А. И. Опыт лесосушительных работ в Тимирязевском опытно-показательном механизированном лесхозе // Теория и практика лесного болотоведения и гидролесомелиорации. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1976. С. 119–127.
- Петров Н. Ф. Дифференцировочные таблицы для выделения возрастных групп в разновозрастных древостоях // Лесоводственные исследования в лесах Сибири. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. Вып. 2. С. 82–90.
- Платонов Г. М. Болота северной части междуречья Оби и Томи // Заболоченные леса и болота Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 65–95.
- Пьявченко Н. И. О классификации заболоченных и болотных лесов // Вопросы классификации растительности. Свердловск: Кн. изд-во, 1961. Вып. 27. С. 133–138.
- Пьявченко Н. И. К изучению болот Красноярского края // Заболоченные леса и болота Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1963а. С. 3–32.
- Пьявченко Н. И. Лесное болотоведение. Основные вопросы. М.: Наука, 1963б. 192 с.
- Пьявченко Н. И. Некоторые итоги стационарного изучения взаимоотношений леса и болота в Западной Сибири // Взаимоотношения леса и болота. М.: Наука, 1967. С. 7–42.
- Пьявченко Н. И., Сальников А. И. Опыт осушения лесных земель в Томской области // Лесн. хоз-во. 1968. № 4. С. 37–40.
- Реввердатто В. В. Растительность Сибири // Естественно-исторические условия сельскохозяйственного производства Сибири. Ч. 3. Новосибирск: СибНИИ социалистической реконструкции сельского хоз-ва, 1931. 174 с.
- Семечкин И. В. Динамика возрастной структуры древостоев и методы ее изучения // Вопросы лесоведения. Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1970. Т. 1. С. 422–446.
- Суслов С. П. Физическая география СССР. Азиатская часть: Учеб. пособие для пед. вузов. М.: Гос. учеб.-пед. изд-во Мин-ва просвещ. РСФСР, 1954. 712 с.
- Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г. Справочник таксатора: Таблицы для таксации леса. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 459 с.
- Тюремнов С. Н. Районирование торфяных месторождений // Торфяной фонд РСФСР. Ч. 1: Сибирь, Дальний Восток. М.: Сов. наука, 1956. С. 129–141.
- Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 487 с.

- Федотов С. С. Лесные культуры на переходных болотах Томской области // Лесн. хоз-во. 1967. № 7. С. 50–52.
- Черепнин В. Л. Изменчивость семян сосны обыкновенной. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 182 с.
- Шапко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 335 с.
- Швер Ц. А. Атмосферные осадки на территории СССР: Изменение во времени и геогр. распределение характеристик осадков с использованием результатов исследования приборных ошибок. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 302 с.
- Шумилова Л. В. Крылов и ботанико-географическое районирование Сибири // Памяти П. Н. Крылова в связи со столетием со дня рождения: Сб. статей. Томск: Изд-во ТГУ, 1951. С. 65–74. (Тр. Том. гос. ун-та; Т. 116).
- Шумилова Л. В. Ботаническая география Сибири: Учеб. пособие. Томск: Изд-во ТГУ, 1962. 439 с.
- Ярошенко П. Д. Геоботаника: основные понятия, направления и методы. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 474 с.

PHYTOCENOTIC AND INVENTORY INDICATION OF BOG PINE FORESTS IN THE OB'-TOM' INTERFLUVE

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

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

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

In a comparative vein, the existing and potentially possible methodological methods for delimiting zonal-provincial associations of forest-bog and peat-bog complexes are analyzed. It is shown that on geomorphological differences of locations under conditions of continuous interaction with climate elements, soils and vegetation, their relatively autonomous development in time and space is carried out. On the example of the northern part of the Ob and Tom interfluve, in accordance with the criteria of such relative autonomy, natural indicator variations in the taxation and phytocenotic structure of indigenous marsh forests and, for comparison, dry valley pine forests are characterized. In the ranks of their modern typological and morphosculptural organization, causal relationships of ecosystem diversity and productivity with water and mineral growing conditions are considered, which clearly affect the composition of the age generations of the «mother» forest stands, undersized undergrowth and juvenile renewal groups. On the basis of the dimensions of the positive elements of the phytogenic micro- and mesorelief, large-hillock and cushion-like surfaces of oligotrophic and mesotrophic pine forests with mossy-lichen-shrub vegetation are typified, in peat deposits of which permafrost aquicludes and ice lenses-migratory are regularly localized. In especially moistened eutrophic pine forests with grass-mossy and low-grass vegetation, the phytogenic relief is considered in the system of different-height, scattered and merged tussocks, as well as near-stem mounds, which are formed by frameworks of skeletal roots draped with coniferous-leaf litter, grass rags, green Bryidae Engl. and hypnum Hypnales W. R. Buck et Vitt towards mosses. Taking into account these and a number of other factors, the trend of ambiguous settlement of self-sowing and pine *Pinus* L. undergrowth under the canopy of «mother» forest stands is estimated. Phytocenotic and inventory indication of pine forests, based on the system-sampling method of assessment, expands the understanding of the comparative range of variability in the structure of both marsh and upland pine forests that have reached the climax or approached the stages of self-development.

Keywords: *Scotch pine, forest-bog complexes, ecosystem diversity, phytogenic relief, ground vegetation, undergrowth, self-seeding.*

How to cite: Efremov S. P., Efremova T. T., Pimenov A. V., Sedel'nikova T. S. Phytocenotic and inventory indication of bog pine forests in the Ob'-Tom' interfluves // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 5. P. 3–21 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630*43:528.7

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КРАСНОЯРСКИЕ СТОЛБЫ»

М. Г. Ерунова^{1, 2}, А. А. Кнорре^{2, 3}

¹ Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»
660036, Красноярск, Академгородок, 50

² Национальный парк «Красноярские Столбы»
660006, Красноярск, ул. Карьерная, 26а

³ Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: marina@icm.krasn.ru, nau-stolby@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.05.2022 г.

Исследована горимость территории национального парка «Красноярские Столбы», ежегодно фиксируемая на особо охраняемой природной территории (ООПТ) и в ее охранной зоне в рамках ведения длительных рядов наблюдений за природными процессами. Информация по пожарам с 1942 г. обобщена в базе данных ArcGis. Цифровая модель истории пожаров заповедной территории включает 176 участков (610 выделов) пожаров, 40 (58 выделов) из которых – повторно горимые. Проведен ретроспективный анализ фактической горимости лесов данной территории за период с 1942 по 2020 г. Частота возникновения пожаров и площади выгорания существенно различаются в разных функциональных зонах национального парка в зависимости от режима охраны. К наиболее часто горимым (2.4 возгораний в год) относятся участки ООПТ и ее охранной зоны с режимом рекреационного использования и межпожарным интервалом, не превышающим 2 года. Самыми крупными по площади стали пожары 1956 и 2002 гг. в заповедной зоне ООПТ. За весь период преобладали низовые пожары малой и средней интенсивности. Больше всего пожаров общей площадью 1744 га, включая повторные разных лет на одних и тех же участках, отмечено с 1997 по 2006 г. Наложение карт горимости территории на информационную основу по типам леса показало, что в прошлом большая часть пожаров зафиксирована в насаждениях с преобладанием (59 %) сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В связи с высоким классом природной пожарной опасности в последние годы из-за массового усыхания древостоев (преимущественно пихтовых), высокой степенью накопления лесных горючих материалов вследствие длительного отсутствия пожаров в заповедной зоне в целом, именно этот район нацпарка наименее защищен от возникновения крупных пожаров в будущем с возможным изменением как видов пожаров, так и их периодичности.

Ключевые слова: горимость территории, геоинформационные системы, векторизация пожаров, ООПТ, базы данных.

DOI: 10.15372/SJFS20220502

ВВЕДЕНИЕ

Пожары являются важной частью функционирования многих лесных экосистем в бореальной зоне и относятся к фактору, не имеющему однозначного характера воздействия. Из наиболее отрицательных последствий пожаров на лесные экосистемы можно выделить коренные

изменения в их составе и структуре, что нарушает связи между различными компонентами, тем самым снижая ее устойчивость. К тому же на длительное время утрачивается углероддепонизирующая функция лесов, значительно влияющая на климат в целом. Повышение концентрации парниковых газов вследствие выброса большого количества CO₂ в дальнейшем может

привести к увеличению площадей горимых территорий (Иванова, 2005). Однако последствия лесных пожаров могут носить и положительный характер. Они способствуют смене породного состава, что в определенных условиях приводит к улучшению плодородия почвы. Также пожары содействуют естественному возобновлению древесных пород, прежде всего светлохвойных, способствуя расширению площадей их произрастания (Цветков, 2007; Wooster et al., 2013). Низовые пожары слабой и средней интенсивности приводят к общему снижению запасов лесных горючих материалов, тем самым обеспечивают низкую вероятность горения участков в будущем.

До сих пор законодательно не выработано четкого отношения к пожарам на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), возможно потому, что слишком разнообразны и специфичны условия обширной территории России.

Объективная и своевременная информация о последствиях пожаров, в частности о пирогенной гибели лесов, крайне важна для особо охраняемых природных территорий не только по причине выполнения одной из основных своих функций по регистрации всех явлений и процессов, происходящих на ООПТ, но также для решения широкого круга прикладных задач лесного хозяйства, включая планирование охраны и защиты лесов, лесопользование и лесовосстановление, актуализацию данных о лесных ресурсах (Hann, Bunnell, 2001; Стыценко, 2016; Волокитина и др., 2017). Данные о площади поврежденных огнем и погибших насаждений являются ключевой составляющей информационного обеспечения фундаментальных биосферных исследований природных территорий (Коровин, Исаев, 1998).

Для южной части Средней Сибири в целом, к которой относится и территория национального парка (НП) «Красноярские Столбы», типичны повторяющиеся экстремальные пожароопасные сезоны, характеризующиеся длительными периодами без осадков, высокими температурами и низкой относительной влажностью воздуха, часто сопровождаемые сильными ветрами. Почти ежегодно в той или иной части региона создаются условия, благоприятные для возникновения экстремальных ситуаций, но четкой закономерности в их наступлении не выявлено (Иванова, 2005).

Современная территория национального парка «Красноярские Столбы», ранее (1925–2019) – государственного природного заповед-

ника «Столбы», существует в тех же границах и имеет полную преемственность истории, зонирования, научных исследований и иных категорий функционирования заповедника. Еще до его создания данная территория неоднократно подвергалась воздействию лесных пожаров. Об этом свидетельствуют как исторические материалы, так и следы огня (старые обгорелые пни), встречающиеся почти повсеместно и в настоящее время (Дельпер, 1988; Проект..., 2007). Однако до 1948 г. комплексных лесоинвентаризационных работ на ООПТ не проводилось, следовательно, данные о лесопирологических исследованиях, в том числе о пожарах с 1925 по 1942 г., отсутствуют. Начиная с 1942 г., в летописях природы и в отчетах лесного отдела заповедника (ныне национального парка) представлена обширная и достаточно полная информация по пожарам как на бумажных носителях, так и обобщенная в базу данных (Тимошкина, Тимошкин, 2010), ежегодно пополняемая.

Безусловно, внедрение цифровых технологий в изучение природных территорий повышает эффективность научных исследований. Ведение цифровых баз данных позволяет не только документировать собранную за много лет информацию о состоянии природных комплексов, но также анализировать ее и выявлять различные взаимосвязи географической информации (Abhineet et al., 1996; Malczewski, 2006; Гребенников, 2016).

Применение географических информационных систем (ГИС) позволяет разрабатывать единую методологию экологического мониторинга состояния природных ресурсов особо охраняемых природных территорий и создавать уникальную цифровую базу данных для конкретной территории с дальнейшим ее использованием для комплексного изучения (Ерунова и др., 2008).

Встречается множество публикаций, связанных с созданием цифровых баз данных историй пожаров, где используются разного рода письменные сообщения. Так, L. F. Howard и соавт. (2021) для парка Catoctin Mountain (США) приводят сведения из газетных сообщений по пожарам с 1702 г. Работники национального парка Крюгера вносили данные о пожарах, «нарисованные от руки», с 1941 г. (Strydom, Midzi, 2019). В последние годы мониторинг пожаров ведется в основном по данным дистанционного зондирования (Sunar, Özkan, 2001; Барталев и др., 2008; Пономарев и др., 2017; Nieman et al., 2021). В работе M. Pleniou и соавт. (2012) соз-

даны карты истории пожаров на основе архива данных Landsat TM с 1986 г., где из-за низкого разрешения снимков единицей пожара выступает точечный объект. Снимки среднего разрешения со спутников Terra/Aqua позволяют создать базу данных пожарной информации с 2000 г., так как приборы MODIS, установленные на космических аппаратах, именно в этом году начали собирать ежедневные данные (Nieman et al., 2021). К сожалению, небольшие пожары или пожары низкой интенсивности не обнаруживаются MODIS, к тому же, наиболее часто используемые доступные спутниковые данные среднего разрешения зачастую выявляют не точное обнаружение возгораний из-за резких различий по температуре поверхности между участками голой земли, например скал и окружающей их растительностью (Govender et al., 2012). В связи с этим информация, получаемая из отчетных документов ООПТ (в том числе летописей природы), остается единственно актуальной для многих территорий.

Так, на примере территории НП «Красноярские Столбы» общей площадью 47 219 га при анализе данных с приборов MODIS (спутники Terra и Aqua) начиная с 2001 г. получены сведения всего о 11 пожарах, хотя по данным летописей природы за этот же период их зафиксировано 36, что свидетельствует о существенном расхождении наземной и спутниковой информации.

Цель данной работы – провести ретроспективный анализ лесных пожаров на территории НП «Красноярские Столбы» за 1942–2020 гг. с оценкой горимости в зависимости от режима территории и погодных условий. Для этого была создана геоинформационная база данных истории пожаров на основе документальных источников.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования послужили данные о горимости территории старейшего в России государственного природного заповедника «Столбы», преобразованного в декабре 2019 г. в национальный парк «Красноярские Столбы», ведущего ежегодные исследования с приоритетом на длительные ряды наблюдений за природными процессами, включая ежегодно фиксируемые пожары на самой ООПТ и в ее охранной зоне.

Территория относится к горному ландшафту с градацией абсолютных отметок высот от 200 до 832 м н. у. м. Расположена в Восточно-Саянской лесорастительной провинции Манско-Канского

округа горных темнохвойных лесов со свойственным ему спектром высотной поясности и особенностями типологического состава лесов (Смагин и др., 1980). Более 75 % всей площади НП покрыто лесами с преобладанием сосны (*Pinus* L.) и пихты (*Abies* Mill.), по 7 % и менее приходится на остальные породы, такие как ель (*Picea* A. Dietr.), осина (*Populus tremula* L.), лиственница (*Larix* Mill.), береза (*Betula* L.) и кедр (*Pinus sibirica* Du Tour.). Территория разделена на три участковых лесничества: Столбинское, Базайское, Манское (рис. 1).

Исторически сложилось деление территории на зоны (районы), различающиеся по режиму охраны.

Около 90 % всегда относилось к заповедной зоне (исключающая любую хозяйственную деятельность), на зону активной рекреации традиционно приходится около 4 % (большая часть относится к Столбинскому участковому лесничеству), остальная площадь выполняет функцию буферной территории (ныне «особо охраняемая зона»). При преобразовании заповедника в национальный парк баланс площадей остался практически тем же, с дополнительным выделением небольших хозяйственных зон вокруг существующих кордонов и научных стационаров.

Первая сохранившаяся информация о пожарах на территории бывшего заповедника датируется 1942 г. (по данным сводки «Летописи природы» за 1925–1945 гг.), где фиксируется площадь и вид пожара. Архивные материалы о пожарах (включая акты лесных пожаров, разделы в летописях природы) хранятся в виде текстовых документов и электронной базе данных (БД). Начиная с 2012 г. контуры пожаров фиксируются с использованием GPS-навигатора.

Все архивные данные преобразованы в таблицу Excel, где учтены такие показатели, как дата возникновения пожара (год и месяц); местность; номер квартала (выдела); вид пожара (верховой, низовой), характер горения (беглый) и его интенсивность (слабый, сильный, средний); площадь (га); степень воздействия и причиненные повреждения; источник исходной информации.

Расчеты по оценке воздействия пожаров на главные породы наиболее корректно проводить не для всей площади конкретного пожара, а по участкам с привязкой к выделам. Выделы анализировались в связи с тем, что лесоустройством 1959 г., проведенным по II разряду точности, были внесены существенные изменения в квартальную сеть территории по размерности (стала

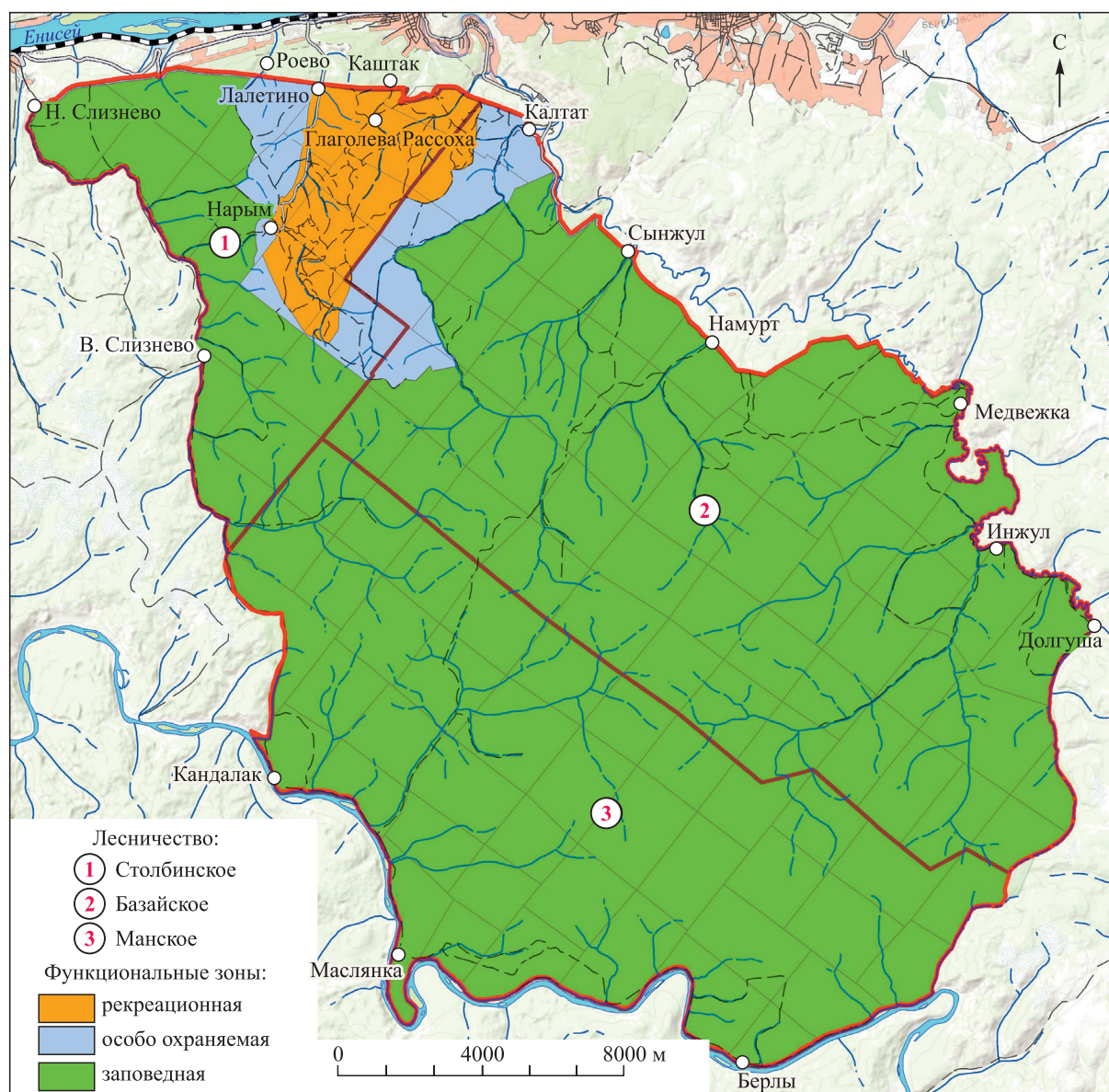


Рис. 1. Территория национального парка «Красноярские Столбы» с выделением функциональных зон (в приведенном варианте хозяйственная зона не отмечена).

2 км) и общему числу кварталов (увеличилось до 114). Ранее, лесоустройством 1948 г. (IV разряд точности), территория была разбита на 37 кварталов. Соответственно число и нумерация выделов также претерпели изменение. К тому же каждый выдел представляет собой однородный по разным параметрам, включая растительность, участок, поэтому расчеты площадей пожаров по преобладающим породам было целесообразно проводить именно для отдельных выделов.

Цифровая модель территории. С 2003 г. в НП ведется геоинформационная БД состояния территории. Цифровая модель территории на сегодняшний день содержит более 200 тематических карт (слоев), и в частности данные лесоустройства за 1948 (Гостева и др., 2010), 1977

(Egunova et al., 2006) и 2007 гг. (Проект..., 2007). Эта модель организована в геоинформационной системе ArcGis, имеет единую картографическую проекцию (Универсальная поперечная проекция Меркатора (UTM WGS46), 46 северная зона), что позволяет использовать функциональные возможности пространственного анализа с помощью инструментов геообработки ArcGIS (Bajjali, 2018).

Создание геоинформационной базы данных истории пожаров. Построение цифровой базы данных истории пожаров территории национального парка проводилось по нескольким алгоритмам.

1. Каждый пожар был преобразован в полигональный объект.

2. Каждый трек с GPS-приемника преобразовывался в полигональный объект и вносился в общий векторный слой.

Особое внимание в данной работе акцентируется на проблеме преобразования картографических материалов на бумажных носителях и материалах в электронном формате в единую картографическую модель (Ерунова и др., 2008).

Лесоустроительные работы для всей территории НП проводились в 1948, 1959, 1976–1977 и 2006–2007 гг. Последнее лесоустройство выполнено в геоинформационной базе данных в цифровом формате. Данные 1948 и 1977 гг. получены ранее в результате оцифровки бумажных планшетов. В зависимости от года пожара выбиралась запись выдела из соответствующей базы лесоустройства и вносилась в цифровую модель истории пожаров. Если площадь выдела превышала площадь произошедшего пожара, то контур пожара создавался в зависимости от его географического описания. Если географическое описание отсутствовало, то в цифровую модель истории пожаров заносился выдел целиком, но

указывалась его фактическая площадь. Пожары с 1959 по 1977 г. оцифровывались по отсканированной карте лесоустройства 1959 г. Оцифровка необходимых выделов, где происходили пожары, включала три основных этапа: создание растровой подложки с выделами, в которых описаны пожары (сканирование бумажной карты лесоустройства 1959 г.); привязка данных к единой картографической основе (UTM WGS46); оцифровка выделов, в которых указан пожар; заполнение показателей для каждого пожара.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Создана геоинформационная база данных истории пожаров территории современного национального парка «Красноярские Столбы», в которой хранится следующая информация о пожаре: дата, описание местности, номер выдела и квартала, вид пожара (верховой, низовой), площадь, степень воздействия (причиненные повреждения). БД включает 610 участков (выделов) пожаров, 58 из которых – повторно горимые (рис. 2).

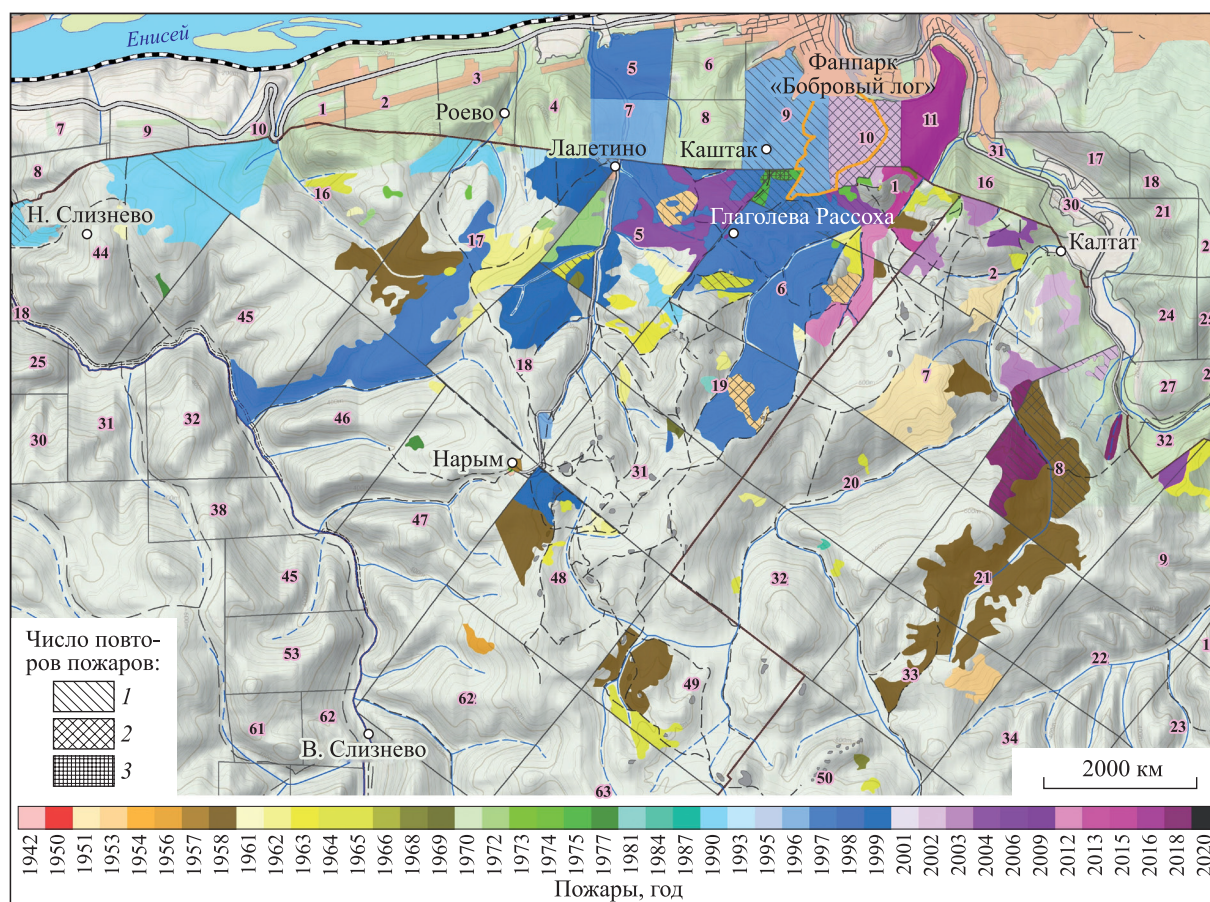


Рис. 2. Карта истории пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы» и его охрannой зоны за 1942–2019 гг. с представленностью лет, характеризующихся фактической горимостью (например, в 2020 г. пожары отсутствовали).

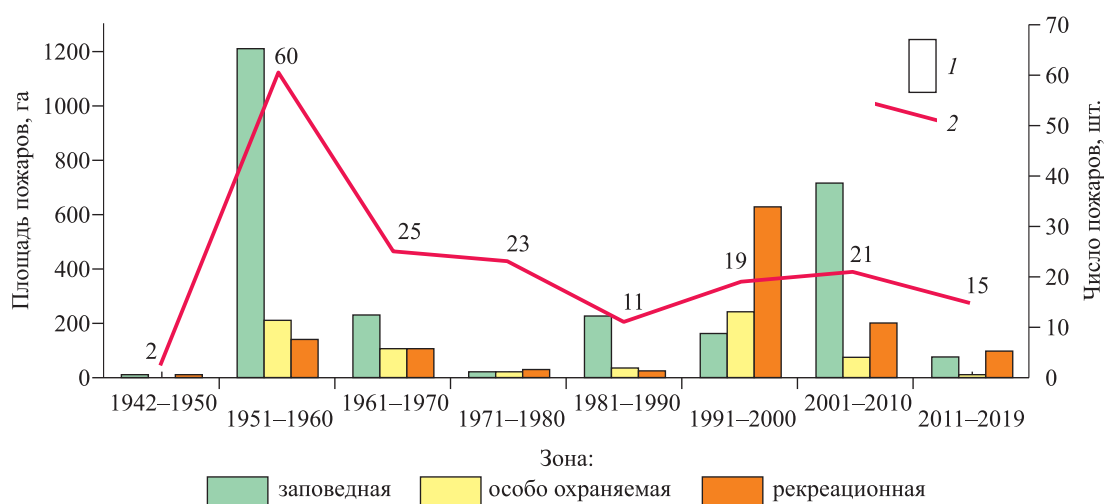


Рис. 3. Суммарная площадь (1), пройденная огнем в разных функциональных зонах НП «Красноярские Столбы» и общее число пожаров (2) за 1942–2020 гг. по десятилетиям.

На карте они выделены серой штриховкой. Площадь территории, повторно подвергшейся пожарам, составила 349 га. Такие участки расположены в основном в рекреационной зоне, в долине р. Миничевой Рассохи и на сопредельной территории фанпарка «Бобровый лог», входящей в охранную зону ООПТ.

На основе полученной геоинформационной БД истории пожаров проведен ретроспективный анализ фактической горимости лесов данной территории с помощью геоинформационных систем.

Временная динамика горимости по площадям и количеству пожаров на территории за весь рассматриваемый период представлена на рис. 3. Наибольшее число возгораний пришлось на периоды с 1951 по 1980 г. и с 1991 по 2010 г.

Наиболее масштабными по охвату территории были пожары с 1997 по 2006 г., когда возгораниями было охвачено 1744 га территории, включая повторные пожары, возникающие на одних и тех же участках в разные годы. Самыми крупными в истории национального парка стали пожары 1956 (557 га), 1958 (360 га), 1990 (193 га), 1997 (536 га), 1999 (230 га), 2002 (688 га) и 2004 (180 га) гг.

Причем пожары 1951–1960 гг. в большей степени приурочены к заповедной зоне Базайского участкового лесничества. Как показано на рис. 1, данное событие было отмечено в районе г. Абатак (12-й квартал), где только в мае 1956 г. сгорело более 500 га. Упоминаний о причинах возгораний в документальных источниках ООПТ («Летопись природы», «Генеральное дело» и др.) не найдено. По данным метеостанции «Столбы», год возникновения пожара

и предшествующий ему характеризовались по температурному режиму и степени увлажнения (количеству осадков) на уровне среднесезонных, поэтому причиной возгораний могли быть разные факторы – от неосторожного обращения с огнем до поджога. Большие площади пожаров обусловлены сложным тушением в горной труднодоступной местности.

К наиболее часто горимому относится Столбинское лесничество. Общая суммарная по годам площадь пожаров составила 1560 га, это 21 % от всей его площади (7573 га). Всего здесь зафиксировано 100 пожаров. Самые масштабные приходятся на Столбинское нагорье, район кордонов Нижнее Слизнаво и Лалетино, урочище Моховая, скалы Такмак, Воробушки, Второй Столб, хр. Откликные, район руч. Фокинский. Данные участки относятся к наиболее посещаемым в рекреационной зоне (за исключением кордона Нижнее Слизнаво, руч. Фокинский), с колоссальной ежегодной антропогенной нагрузкой (так, число посетителей НП в 2019 г. превысило 1 млн чел.).

В Базайском лесничестве за всю историю зафиксирован 51 пожар с суммарной площадью 1140 га, что составляет 5 % от общей площади лесничества (22 322 га). Самые крупные и частые пожары приходятся на территорию г. Абатак, а также район руч. Миничева Рассоха. Территория лесничества Базайское практически полностью относится к заповедной зоне.

На территории Манского участкового лесничества (полностью относится к заповедной зоне) за весь период зафиксировано всего 9 пожаров на площади 760 га, что составляет 4 % от площади лесничества (17 324 га). Единственный крупный

пожар, одновременно и самый большой по площади за весь период существования ООПТ, на территории Манского лесничества был в 2002 г., когда вдоль береговой линии р. Мана выгорело 688 га леса на крутых склонах заповедной зоны в весенний период. Последствием такого пожара стало появление крупной гари площадью 17 га.

Необходимо отметить и тот факт, что периодические пожары фиксируются и в охранной зоне ООПТ. Основными местами их возникновения также становятся участки массового туризма (урочища Бобровый лог, Каштак, скалы Малый Такмак) и примыкающих СНТ (Мраморный карьер). Общее число пожаров в охранной зоне составило 9 % от зафиксированных за весь период наблюдения, с общей площадью выгорания 50 га.

Анализ горимости территории по сезонам показал, что наиболее пожароопасен весенний период (табл. 1). Почти половина всех пожаров (48 %), возникавших на территории национального парка, приходится на май, который характеризуется и максимальной площадью, пройденной пожарами. Так же значительный ущерб вследствие воздействия пожаров общей площадью более 450 га характерен для августа и октября.

По данным метеорологической станции национального парка, среднегодовая температура воздуха в целом за рассматриваемый период выросла на 1.8 °С, перейдя отметку 0 °С в начале 1980-х гг. (Гончарова, Кнорре, 2018). Средние температуры осени и весны стали выше на 1.6 и 1.9 °С соответственно. Причем, если температуры осенних месяцев все же растут в последние 30 лет незначительно, то весной они показывают стабильный положительный тренд, что способствует как увеличению пожароопасного периода, а так и сдвигу его начала на более ранние даты.

Таблица 1. Распределение пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы» и охранной зоны (по месяцам) за 1942–2020 гг.

Месяц	Число пожаров (возгораний)	Площадь пожара	
		га	%
Апрель	14	139.5	3.6
Май	84	2476.3	64.2
Июнь	24	168.6	4.4
Июль	15	126.0	3.3
Август	21	475.3	12.3
Сентябрь	6	5.6	0.1
Октябрь	4	458.3	11.9
Без даты	8	8.2	0.2
Всего...	176	3857.8	100

На фрагменте территории с наиболее часто фиксируемыми пожарами (рис. 4) отражено территориальное распределение площадей пожаров по месяцам года. Из данного фрагмента видно, что весенние пожары наиболее представлены для участков, характеризующих остепненные склоны на примыкании ООПТ к городской черте (ранее всех освобождающиеся от снежного покрова весной), а также на наиболее посещаемом маршруте Центрального района.

Дополнительным фактором концентрации весенних пожаров на данных участках является то, что временной период совпадает с эпидемиологическими рисками в связи с активностью иксодовых клещей (*Ixodidae* C. L. Koch), переносчиков клещевого энцефалита, боррелиоза и других болезней, что сдерживает массовое посещение удаленных лесных территорий. Осенние пожары уже охватывают более отдаленные участки рекреационной зоны, а также зоны особой охраны (ранее буферной).

Наложение карт горения на данные по преобладающим древесным породам, показало, что большая часть пожаров (59 %) имела распространение на площадях с доминированием сосны обыкновенной. Это связано с приуроченностью произрастания данного вида к достаточно сухим местообитаниям, а также наибольшей представленностью сосновых древостоев в рекреационной зоне Центральных Столбов (рис. 5).

На втором и третьем месте по повреждениям стоят площади (15 и 12 %) с преобладанием в составе древостоев вторичных мелколиственных пород (береза и осина соответственно), под пологом которых успешно развивалась в последние десятилетия пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Наименее подвержены пожарным повреждениям ельники по причине приуроченности их к пойменным участкам. За всю историю пирологических наблюдений ни разу не фиксировалось повреждение огнем сосны сибирской (кедровой), в основном в силу своей слабой представленности (менее 2 %) для всей территории, а также особенности произрастания вида в более влажных местообитаниях менее подверженной возгораниям заповедной зоны ООПТ.

На основании ретроспективного анализа и карт фактической горимости лесов НП был рассчитан среднестатистический показатель числа возникающих пожаров в наиболее горимой части ООПТ (рекреационной) и в ее охранной зоне, который составил 2.4 события в год, с учетом, что для данной территории характерно

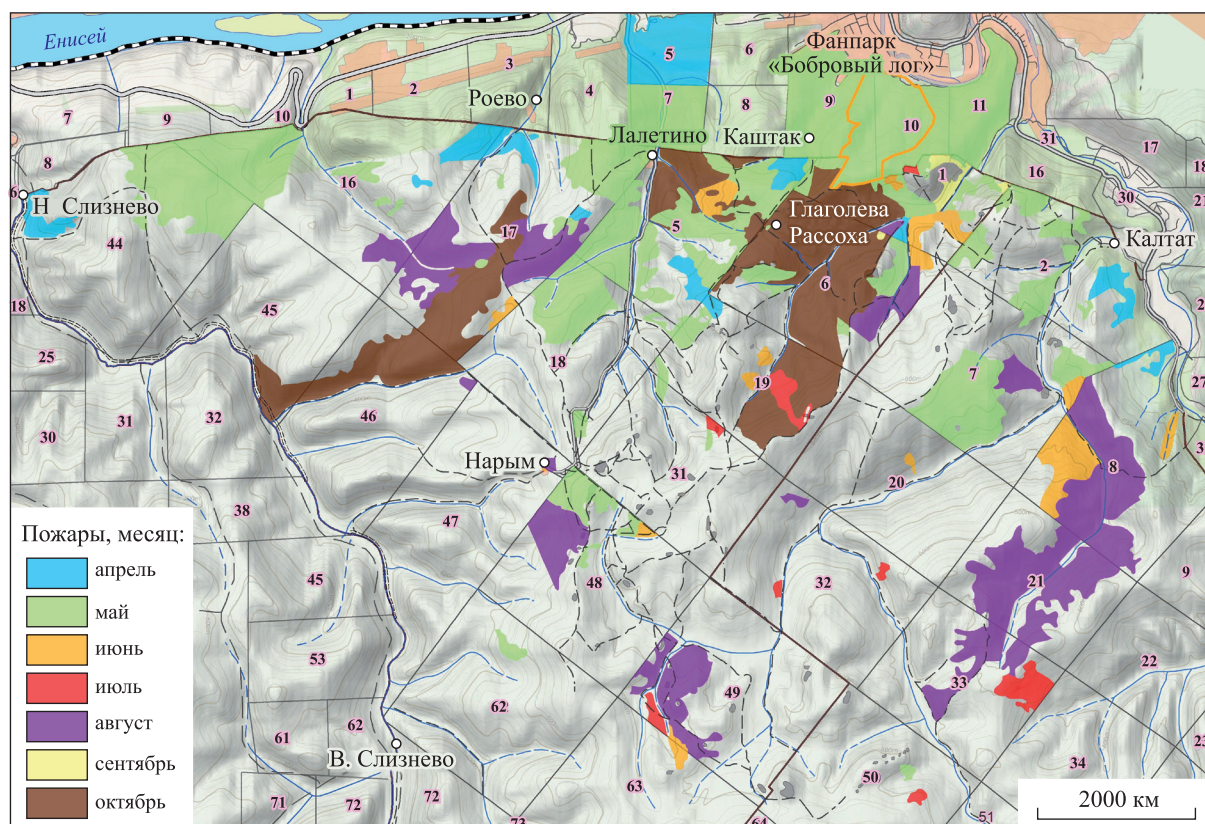


Рис. 4. Фрагмент карты распределения пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы» по месяцам.

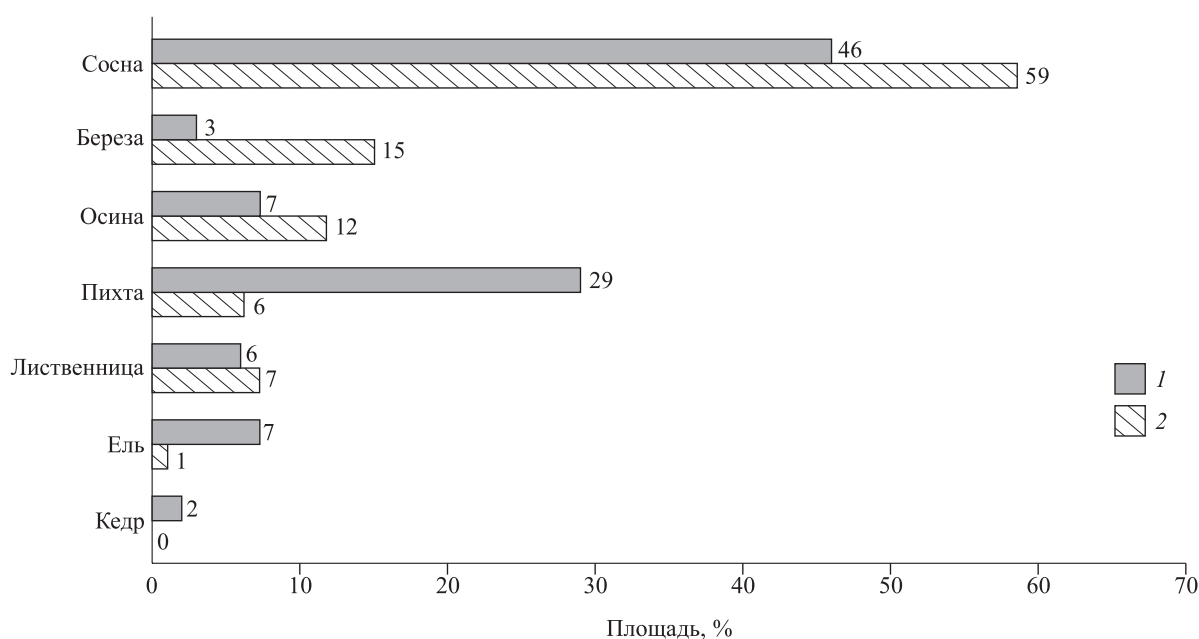


Рис. 5. Распределение площадей пожаров по преобладающей в древостое породе (1) в сравнении с общим количеством данной породы на всей территории ООПТ в соответствии с данными лесоустройств разных лет (2).

возникновение пожаров практически ежегодно. За весь исследуемый период (78 лет) лишь в 31 % случаев пожары имели 1–2-летний межпожарный интервал, при общей площади зафиксированных пожаров 1484.7 га, что составило 38 % от всей площади.

Наиболее ожидаемым видом пожаров на данной территории является низовой от слабой до средней интенсивности. Распределение пожаров по месяцам показало, что основная доля пожаров выпадает на весенне-летний период, а именно апрель – июнь, причем половина из них приходится на май. Относительно территориального возникновения пожаров можно с уверенностью сказать, что тенденция более частого их возникновения на территориях, используемых в целях рекреации, как на ООПТ, так и в его охранной зоне, останется неизменной.

Для заповедной зоны национального парка развитие пожарной ситуации совершенно иное. На основе ретроспективного анализа выявлено, что данная территория наиболее пожароопасна из-за сложности тушения удаленных участков, а также высокого межпожарного интервала, который составил 56 лет для крупных по площадям пожаров (>500 га) и 15 лет для мелких (<50 га). При этом площадь пожаров на данной территории составила 62 % (2372.2 га) от всех произошедших за анализируемый период. При общей площади заповедной зоны более 42 тыс. га 95 % ее ни разу не подвергалось воздействию пожаров за все существование ООПТ, в связи с чем возникает дополнительный фактор повышения пожароопасной ситуации из-за высокой степени накопления лесных горючих материалов. Также существенно усугубляет ситуацию массовое усыхание пихтовых древостоев, широко представленных именно в среднегорном поясе заповедной зоны вследствие инвазии короеда – полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandford) (Кнорре и др., 2015), приведшего к гибели пихты сибирской на большой площади всей ООПТ в последние 10 лет. Так, по данным дистанционного зондирования Земли, по состоянию на 2021 г. более 30 тыс. га древостоев считается поврежденными, из которых более 2 тыс. отмечены как вывалы. Значительные площади повреждения обусловлены не только массовым усыханием пихты, в большом количестве представленной как в древостоях с преобладанием данной породы (29 %), так и в других в качестве второстепенной породы. Также массовое усыхание хвойных обусловлено общей перестойностью лесов НП (IX–X класс возраста для

хвойной секции). Несмотря на то что в прошлом пихта не являлась породой, массово повреждаемой лесными пожарами, в настоящее время она может стать причиной возникновения верховых пожаров, ранее представленных на территории незначительно (рис. 5).

Последние 5 лет в НП ведется мониторинг пожарной опасности (ПО) в лесах по условиям погоды, с расчетом ежедневного комплексного показателя по метеорологическим данным, характеризующим конкретную территорию (м/с «Столбы») и оценкой класса (степени) пожарной опасности (Андреев, Брюханов, 2011). Общий период наблюдений охватывает сезон от массового схода снежного покрова и установления положительных температур воздуха до первых осенних заморозков и выпадения снега, который для НП составляет в среднем 190 дней. За 5 лет (2016–2020 гг.) распределение по сезону классов ПО выглядит следующим образом: I (отсутствует) – 47 % от общего количества дней в сезоне, II (малая) – 29 %, III (средняя) – 22 %, IV (высокая) – 2 % и V (чрезвычайная) – 0 %. Незначительная доля IV и отсутствие V классов ПО в национальном парке обусловлены общей лесорастительной и климатической характеристикой территории, большая часть которой относится к таежной зоне и имеет существенные различия в климате с соседней Красноярской лесостепью. Так, среднегодовая температура в НП (м/с «Столбы») по сравнению с Красноярском (м/с «Опытное поле») ниже на 2 °C, а среднегодовое количество осадков больше на ~ 200 мм, причем сход снежного покрова в НП происходит почти на месяц позже, чем в целом в лесостепных условиях. Это существенно снижает вероятность частого возникновения экстремальных пожароопасных сезонов по сравнению с иными территориями Средней Сибири.

С учетом классификации природной пожарной опасности (ППО) лесов (Приказ..., 2011) значительная часть территории национального парка в последние годы стала относиться к I классу (очень высокая ППО) вследствие появления больших площадей с сухостоем (> 70 % территории), наличием буреломов и ветровалов. Это существенно отличается от данных, приводимых ранее в проекте противопожарного обустройства заповедника «Столбы», выполненного ИЛ СО РАН (Проект..., 2007), где именно леса среднегорного пояса с преобладанием пихты в главной породе до 2011 г. были отнесены к незначительному (IV) классу ППО.

Прогноз поведения пожаров на основе ретроспективного анализа горимости территории на сегодняшний день в связи со значительными изменениями лесопатологического состояния лесов НП может носить лишь теоретический характер. И несмотря на то что классы ПО (по условиям погоды) от среднего и выше отменяются в менее чем 25 % случаев, общая климатическая ситуация, наблюдаемая в последние десятилетия, характеризующаяся более ранними сроками схода снежного покрова и положительной динамикой температур воздуха в весенний период (апрель, май), может провоцировать значительное увеличение неконтролируемых пожаров весеннего периода по всей территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ динамики пожаров на особо охраняемой природной территории федерального значения с длительной историей ее существования в статусе заповедника (с 1925 по 2019 г. государственный природный заповедник «Столбы»), но исторически имеющей не свойственную для данной категории ООПТ систему зонирования, выявил определенную специфику пожарной истории территории.

Создание геоинформационной базы данных по лесным пожарам позволило не только документировать собранную за 78 лет информацию о состоянии природных комплексов, но также провести ретроспективный анализ фактической горимости лесов за 1942–2020 гг. Получена цифровая модель истории пожаров территории современного национального парка «Красноярские Столбы». Она включает 176 случаев пожаров, 40 из которых повторные на ранее горимых участках. Наиболее масштабными по охвату территории были пожары с 1997 по 2006 г., когда возгорания охватили 1744 га территории, включая повторные пожары на одних и тех же участках в разные годы. Выявлено, что наибольшее число пожаров с повторными случаями возгораний на одних и тех же участках (до 10 %) приходится на рекреационную зону, однако самые крупные по площади лесные пожары зафиксированы в заповедной зоне в связи с ее труднодоступностью для своевременного обнаружения и быстрого тушения. Более половины возникающих пожаров приходится на май, а наиболее часто повреждаемыми в 59 случаях из 100 стали древостои с преобладанием сосны обыкновенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Ю. А., Брюханов А. В. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае-Саянского экорегиона): Справ. пособ. / под ред. П. А. Цветкова. Красноярск. 2011. 272 с.
- Барталев С. А., Еришов Д. В., Коровин Г. Н., Котельников Р. В., Лупян Е. А., Щетинский В. Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Совр. пробл. дист. зонд. Земли из космоса. 2008. Т. II. Вып. 5. С. 419–429.
- Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: усовершенствованная методика составления // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 52–61.
- Гончарова Н. В., Кнорре А. А. Основные тенденции изменений климата в заповеднике «Столбы» по данным собственной метеостанции за непрерывный период наблюдений 1947–2016 // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Южной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. Вып. 8. С. 15–19.
- Гостева А. А., Ильина А. П., Ерунова М. Г. Векторизация плана лесоустройства заповедника «Столбы» 1948 // Тр. гос. заповед. «Столбы». Красноярск, 2010. Вып. 19. С. 39–47.
- Гребенников К. А. Изучение биоразнообразия заповедников России в цифровой эпохе: опыт и перспективы // Nat. Conserv. Res. Заповед. наука. 2016. Т. 1. № 2. С. 1–10.
- Дельпер А. П. Элементы антропогенного воздействия на природный комплекс заповедника «Столбы» // Тр. гос. заповед. «Столбы». Красноярск, 1988. Вып. 15. С. 212–231.
- Ерунова М. Г., Гостева А. А., Якубайлик О. Э. Геоинформационное обеспечение задач экологического мониторинга особо охраняемых территорий // Журн. Сиб. фед. ун-та. Сер.: Техн. и технол. 2008. Т. 1. № 4. С. 366–376.
- Иванова Г. А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.03. Красноярск. 2005. 40 с.
- Кнорре А. А., Разнобарский В. Г., Вагнорюс П. А., Шайдулов Р. Л., Лесников Е. М., Астапенко С. А., Акулов Е. Н. Угроза исчезновения пихтовых древостоев в заповеднике «Столбы» в результате инвазии полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandf.) // Тр. гос. заповед. «Столбы». Красноярск, 2015. Вып. 20. С. 211–222.
- Коровин Г. Н., Исаев А. С. Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Лесн. б-л. 1998. № 8–9. С. 91–95.
- Пономарев Е. И., Харук В. И., Якимов Н. Д. Результаты и перспективы спутникового мониторинга природных пожаров Сибири // Сиб. лесн. журн. 2017. № 5. С. 25–36.
- Приказ Рослесхоза от 05.07.2011 № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды». М.: Рослесхоз, 2011.

- Проект организации и ведения лесного хозяйства государственного учреждения заповедника «Столбы».* Красноярск, 2007. Т. 1. 335 с.
- Смагин В. Н., Назимова Д. И., Чередникова Ю. С. Типы лесов гор Южной Сибири / под ред. В. Н. Смагина. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 334 с.
- Стыценок Ф. В. Разработка и применение методики и автоматизированной технологии оценки пирогенной гибели лесов на основе спутниковых данных: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.34. М.: ИКИ РАН, 2016. 25 с.
- Тимошкина О. А., Тимошкин В. Б. Итоги мониторинга природных пожаров в ГПЗ «Столбы» // Тр. гос. заповед. «Столбы». Красноярск, 2010. Вып. 19. С. 100–104.
- Цветков П. А. Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. Красноярск: СибГТУ, ИЛ СО РАН, 2007. 250 с.
- Abhineet J., Shirish A. R., Singh R. K., Das K. K., Roy P. S. Forest fire risk modelling using remote sensing and geographic information system // *Current Sci.* 1996. V. 70. N. 10. P. 928–933.
- Bajjali W. ArcGIS for environmental and water issues. Springer Cham, 2018. 353 p.
- Erunova M. G., Gosteva A. A., Sadovsky M. G. GIS-aided simulation of spatially distributed environmental processes at «Stolby» state reservation // *Ecol. Model.* 2006. V. 195. Iss. 3–4. P. 296–306.
- Govender N., Mutanga O., Ntsala D. Veld fire reporting and mapping techniques in the Kruger National Park, South Africa, from 1941 to 2011 // *Afr. J. Range & Forage Sci.* 2012. V. 29. Iss. 2. P. 63–73.
- Hann W. J., Bunnell D. L. Fire and land management planning and implementation across multiple scales // *Int. J. Wildland Fire.* 2001. V. 10. Iss. 4. P. 389–403.
- Howard L. F., Cahalan G. D., Ehleben K., Amala B., El. M., Halza H., DeLeon S. Fire history and dendroecology of Catocin Mountain, Maryland, USA, with newspaper corroboration // *Fire Ecol.* 2021. V. 17. Article number: 8. 13 p.
- Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature // *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2006. V. 20. Iss. 7. P. 703–726.
- Nieman W. A., Wilgen van B. W., Leslie A. J. A reconstruction of the recent fire regimes of Majete Wildlife Reserve, Malawi, using remote sensing // *Fire Ecol.* 2021. V. 17. Article number: 4. 13 p.
- Pleniou M., Xystrakis F., Dimopoulos P., Koutsias N. Maps of fire occurrence – spatially explicit reconstruction of recent fire history using satellite remote sensing // *J. Maps.* 2012. V. 8. Iss. 4. P. 499–506.
- Strydom T., Midzi S. A. Evolving fire management strategies and their impact on the occurrence and spatial extent of unplanned wildfires in a large African savanna park // *Territorium: Int. J. Risks: Forest Fires.* 2019. N. 26 (I). P. 19–27.
- Sunar F., Özkan C. Forest fire analysis with remote sensing data // *Int. J. Rem. Sens.* 2001. V. 22. Iss. 12. P. 2265–2277.
- Wooster M. J., Roberts G., Smith A. M., Johnston J., Freeborn P., Amici S., Hudak A. T. Thermal remote sensing of active vegetation fires and biomass burning events // *Thermal infrared remote sensing. Sensors, Methods, Applications* / Claudia Kuenzer, Stefan Dech (Eds.). Springer Dordrecht, 2013. P. 347–390.

THE WILD FIRES RETROSPECTIVE ANALYSIS IN THE NATIONAL PARK «KRASNOYARSK STOLBY»

M. G. Erunova^{1,2}, A. A. Knorre^{2,3}

¹ Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center», Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

² National Park «Krasnoyarsk Stolby»
Kar'ernaya str., 26A, Krasnoyarsk, 660006 Russian Federation

³ Siberian Federal University
Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation

E-mail: marina@icm.krasn.ru, nau-stolby@yandex.ru

Here we analyzed the data on the burning of the territory of the national park «Krasnoyarsk Stolby» annually recorded in the protected area and the buffer zone as part of long-term observations of natural processes. Information on fires was summarized starting from 1942 onwards and converted into the ArcGis database. A digital model of the fire history in the national park has been obtained, which includes 176 fire sites (610 tax. divisions), 40 (58 tax. divisions) of which are known by repeated fires. A retrospective analysis of the actual burning of forests in this territory for the period from 1942 to 2020 was carried out. The frequency of fires and burnout areas differ significantly for different functional zones of the national park, depending on the protection regime. The most frequently combustible (2.4 events per year) are sites with a recreational use regime, where the interval between fires not exceeding 2 years. The largest burned sites were in the strict strictly protected zone in 1956 and 2002. Ground fires of low and medium intensity became predominant over the entire period. In terms of area coverage, the most extensive fires occurred in the period from 1997 to 2006 with 1744 hectares covered by fires, including repeated fires in the same areas in different years. The joint analysis of the maps of the burning of the territory and the data on forest types showed that most fires for all considered period took place in stands where the dominant species was Scots pine *Pinus sylvestris* L. (59 %). The strictly protected zone of the national park is the least protected from major fires in the future, due to the high class of natural fire hazard in recent years because of the massive drying up of conifer stands (mainly fir) and a high degree of accumulation of forest fuel due to the long absence of fires in the protected area as a whole.

Keywords: *burning of the territory, geoinformation systems, fire mapping, protected area, databases.*

How to cite: Erunova M. G., Knorre A. A. The wild fires retrospective analysis in the national park «Krasnoyarsk Stolby» // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 5. P. 22–33 (in Russian with English abstract and references).

УДК 581.526+582.284.3

Светлой памяти ученого и учителя
Кутафьевой Натальи Петровны
посвящается

МАКРОМИЦЕТЫ БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА В УСЛОВИЯХ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ

О. Е. Крючкова

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

E-mail: ivyry@mail.ru

Поступила в редакцию 19.04.2022 г.

Представлены результаты многолетних исследований таксономического разнообразия и эколого-трофических особенностей микобиоты городских березовых лесов Красноярска, подвергающихся средней степени рекреационной нагрузки. Выявлено 234 вида макромицетов, из них только менее половины встречаются регулярно, большая часть – редко или единично. Основную часть богатой одновидовыми таксонами микобиоты составляют грибы порядка Agaricales Underw., по числу видов в семейственном спектре лидируют семейства Russulaceae Lott., Agaricaceae Chevall. и Inocybaceae Jülich. В родовом спектре преобладают *Russula* Pers., *Inocybe* (Fr.) Fr. и *Mycena* (Pers.) Roussel. В эколого-трофической структуре микобиоты доминируют ксилотрофы, микоризообразователи и гумусовые сапротрофы. Широко специализированные ксилосапротрофы преобладают над ксилопаразитами, которые редко выявляются на живых деревьях. В числе микоризообразователей высока доля представителей семейств Russulaceae и Inocybaceae. Среди гумусовых сапротрофов присутствуют виды, характерные как для лесов, так и для открытых местообитаний. Присутствие большого числа синантропных видов в доминирующих таксономических и эколого-трофических группах макромицетов указывает на выраженное воздействие рекреационной нагрузки на формирование микобиоты городских лесов. На валеже березы регулярно встречается внесенный в «Красную книгу Красноярского края» ежовик коралловидный (*Hericium coralloides* (Scop.) Pers.), еще несколько подлежащих охране редких видов грибов были выявлены на исследуемой территории в предыдущие годы.

Ключевые слова: микобиота городских березовых лесов, таксономическое разнообразие, трофическая специализация, антропогенное воздействие.

DOI: 10.15372/SJFS20220503

ВВЕДЕНИЕ

Городскими лесами считаются участки лесов, расположенные на землях населенных пунктов (Лесной кодекс..., 2006) и выполняющие ряд важнейших функций. Исключительно важна роль городских лесов в создании условий для отдыха населения, что обуславливает их рекреационное значение. Березовые леса, расположенные в северо-западной части Октябрьского района Красноярска, представляют собой одну из популярных прогулочных зон города. Осенью они выступают местом любительского сбора грибов, в зимнее время здесь проводятся спор-

тивные мероприятия. Кроме того, это – традиционное место проведения учебной и научно-исследовательской деятельности высших учебных заведений города. Таким образом, описываемые городские леса во многих отношениях – значимые для города территории.

Однако состояние природного комплекса городских березовых лесов до сих пор недостаточно изучено. Немногочисленные публикации в основном посвящены зависимости состояния их почв и растительности от антропогенного воздействия (Перевозникова, Зубарева, 2002; Perevoznikova, Zubareva, 2002; Сорокина и др., 2010; Татаринцев, Скрипальщикова, 2015; Скри-

пальщикова и др., 2017). Первые сведения о грибах лесов, расположенных в черте Красноярск, приводятся в работе М. И. Бегляновой (1972), но в последующие десятилетия XX в. изучение микобиоты данной территории практически не проводилось. Отдельные работы касались исследований аккумуляции тяжелых металлов плодовыми телами грибов (Отнюкова и др., 2012), но не изучению их разнообразия.

На основании вышеизложенного, целью данного исследования стало изучение таксономического разнообразия и эколого-трофических особенностей биоты макромицетов городских березовых лесов Красноярск в условиях длительной рекреационной нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемые территории располагаются в северо-западной части левобережья Красноярск, на плоскости восьмой надпойменной террасы Енисея на южных отрогах хр. Гремячая Грива (55°99' с. ш. 92°77' в. д.). Изучаемые березовые леса сформировались как длительно-производные березняки на месте коренных лиственнично-сосновых травяных и травяно-кустарничковых лесов в процессе интенсивной эксплуатации (Перевозникова, Зубарева, 2002; Perevznikova, Zubareva, 2002).

Основная часть березняков заключена между двумя транспортными магистралями и примыкает к жилой застройке микрорайонов «Студгородок», «Академгородок» и территории кампуса Сибирского федерального университета (СФУ). Помимо березового древостоя естественного происхождения в этих микрорайонах имеются граничащие с ним искусственные посадки чистых культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Описываемая территория входила в число пробных площадей при изучении техногенных нагрузок на березняки Красноярской лесостепи (Скрипальщикова и др., 2017). Установлено, что почвы исследуемой территории имеют развитый профиль с признаками трансформации верхних горизонтов. По гранулометрическому составу они являются легко-, средне- и тяжело-суглинистыми, по показателям кислотности — слабокислыми или нейтральными, по характеру нарушений относятся к городским (урбопочвы), естественные типы которых изменены в результате химического и механического загрязнения (Скрипальщикова и др., 2017). Исследования

эколого-фитопатологического состояния березняков Красноярской группы районов показали, что насаждения, приближенные к урботерриториям, ослаблены, и их санитарное и жизненное состояние достоверно ухудшается с повышением рекреационной нагрузки, влияние техногенного загрязнения незначительное (Татаринцев, Скрипальщикова, 2015).

Исследованные участки соответствуют II–III, кое-где и IV стадиям рекреационной дигрессии (по методике Н. С. Казанской с соавт. (1977)), выражающейся в вытаптывании подстилки, изреживании древесно-кустарничкового яруса и подроста, увеличении освещенности, появлении луговых, опушечных и сорных трав, особенно вблизи дорожно-тропиночной сети. При почти полном отсутствии подлеска и невозможности возобновления древостоя, в результате выпадения погибших деревьев древесный ярус значительно изрежен, что способствует повышению инсоляции и снижению уровня влажности. Деревья ослаблены, часто имеют разреженную крону, усыхающие вершины, у большинства на значительном протяжении ствола отсутствуют нижние ветви. Периодически из древостоя удаляются отдельные сухостойные деревья, в некоторые годы вывозятся и часть валежника.

В исследуемых березняках практически монодоминантный (10 Б) древостой сформирован *Betula pubescens* Ehrh. и *B. pendula* Roth. Ярус подроста почти отсутствует или представлен единичными экземплярами *P. sylvestris*. Другие виды деревьев и кустарников — *Populus tremula* L., *Prunus padus* L., *Crataegus sanguinea* Pall., *Salix* spp., *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt, *Malus baccata* (L.) Borkh., *Acer negundo* L., *Cornus alba* L., *Spiraea media* Schmidt, *Rosa acicularis* Lindl. — встречаются довольно редко. В травяно-кустарничковом ярусе широко представлены *Vicia unijuga* A. Braun, *Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem., *Rubus saxatilis* L., *Trollius asiaticus* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Carex macroura* Meinsh., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Agrimonia pilosa* Ledeb. и др. Мохово-лишайниковый ярус не развит.

Исследования проводились маршрутно-рекогносцировочным методом. Образцы грибов собирали и идентифицировали по общепринятым методикам (Бондарцев, 1953; Вассер, 1985) в течение 2000–2021 гг., преимущественно в августе-сентябре. При определении видовой принадлежности образцов применяли различные отечественные и зарубежные издания (Коваленко, 1989; Нездоймино, 1996; Nordic

Macromycetes, 1997; Ниемея, 2001; Funga..., 2012; и др.). Изученные образцы хранятся в гербарии кафедры экологии и природопользования Института экологии и географии Сибирского федерального университета (СФУ). Помимо материалов, собранных автором, в данной статье приводятся результаты изучения образцов макромицетов, собиравшихся на исследуемой территории в 2000–2012 гг. Н. П. Кутафьевой (хранятся в фондах Гербария Центрального сибирского ботанического сада СО РАН в Новосибирске). Некоторые образцы были собраны сотрудниками Института леса СО РАН, Центра защиты леса Красноярского края, студентами и сотрудниками СФУ.

При изучении таксономической структуры микобиоты таксоны в списке были расположены в алфавитном порядке. Названия видов приведены в соответствии с международной электронной базой данных по номенклатуре грибов «Index Fungorum» (2022). При изучении эколого-трофической структуры микобиоты за основу взята шкала трофических групп А. Е. Коваленко (1980) с некоторыми изменениями и сокращениями:

I. Сапротрофы: на остатках травянистых растений – He; на опаде – Fd; на подстилке – St; на почве – Hu; на древесине – Le (Lei – на неразрушенной древесине, Lep – на разрушенной,

Lh – на корнях и погребенной в почве древесине), C – на углях, Co – на коре деревьев;

II. Симбиотрофы: микоризообразователи – Mr.

III. Паразиты: на деревьях и кустарниках – Pd, на грибах – Pm.

Принадлежность видов к трофической группе принята в соответствии с наблюдениями автора и литературными источниками (Марина, 2006; Малышева В.Ф., Малышева Е.Ф., 2008; и др.). При анализе эколого-трофической структуры микобиоты для видов грибов, способных встречаться на различных субстратах, трофическая группа определялась в зависимости от наиболее часто предпочитаемых ими субстратов.

Для характеристики встречаемости отдельных видов грибов применялась (с некоторыми модификациями) шкала частоты встречаемости (Urbonas et al., 1986): очень редко – 1–2 местонахождения; редко – 3–10; довольно часто – 11–20; часто – более 20 местонахождений; очень часто – на большей части исследованной территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных исследований выявлено 2 отдела, 6 классов, 15 подклассов, 18 порядков, 73 семейства, 135 родов и 234 вида макромицетов (см. таблицу).

Таксономическая структура микобиоты макромицетов городских березовых лесов

Отдел, класс, подкласс	Порядок	Семейство	Род (число видов)
(число родов/видов)			
1	2	3	4
Fungi (135/234)			
Ascomycota (14/19)			
Leotiomycetes (2/2)			
Leotiomycetidae (2/2)	Helotiales (2/2)	Gelatinodiscaceae (1/1)	<i>Ascocoryne</i> (1)
		Chlorociboriaceae (1/1)	<i>Chlorociboria</i> (1)
Pezizomycetes (9/14)			
Pezizomycetidae (8/13)	Pezizales (8/13)	Helvellaceae (1/5)	<i>Helvella</i> (5)
		Morchellaceae (1/1)	<i>Morchella</i> (1)
		Pyronemataceae (4/4)	<i>Humaria</i> (1), <i>Otidea</i> (1), <i>Pulvinula</i> (1), <i>Scutellinia</i> (1)
		Pezizaceae (2/3)	<i>Peziza</i> (2), <i>Sarcosphaera</i> (1)
Sordariomycetes (3/3)			
Hypocreomycetidae (1/1)	Hypocreales (1/1)	Nectriaceae (1/1)	<i>Nectria</i> (1)
Xylariomycetidae (2/2)	Xylariales (2/2)	Hypoxylaceae (2/2)	<i>Daldinia</i> (1), <i>Jackrogersella</i> (1)
Incertae sedis (1/1)	Incertae sedis (1/1)	Tarzettaceae (1/1)	<i>Tarzetta</i> (1)
Basidiomycota (121/215)			
Agaricomycetes (119/213)			

Продолжение таблицы

1	2	3	4
Agaricomycetidae (82/152)	Agaricales (74/142)	Agaricaceae (6/13)	<i>Agaricus</i> (5), <i>Cystodermella</i> (1), <i>Echinoderma</i> (1), <i>Lepiota</i> (5), <i>Macrolepiota</i> (1)
		Amanitaceae (2/4)	<i>Amanita</i> (3), <i>Zhuliangomyces</i> (1)
		Bolbitiaceae (2/2)	<i>Bolbitius</i> (1), <i>Conocybe</i> (1)
		Cortinariaceae (1/4)	<i>Cortinarius</i> (4)
		Crepidotaceae (1/2)	<i>Crepidotus</i> (2)
		Cyphellaceae (1/1)	<i>Chondrostereum</i> (1)
		Entolomataceae (1/2)	<i>Entoloma</i> (2)
		Hydnangiaceae (1/3)	<i>Laccaria</i> (3)
		Hygrophoraceae (2/3)	<i>Hygrocybe</i> (1), <i>Hygrophorus</i> (2)
		Hymenogastraceae (3/5)	<i>Galerina</i> (1), <i>Gymnopilus</i> (2), <i>Hebeloma</i> (2)
		Inocybaceae (4/12)	<i>Inocybe</i> (8), <i>Inosperma</i> (2), <i>Mallocybe</i> (1), <i>Pseudosperma</i> (1)
		Lycoperdaceae (5/9)	<i>Apioperdon</i> (1), <i>Bovista</i> (1), <i>Bovistella</i> (1), <i>Calvatia</i> (1), <i>Lycoperdon</i> (5)
		Lyophyllaceae (3/4)	<i>Calocybe</i> (2), <i>Hypsizygus</i> (1), <i>Lyophyllum</i> (1)
		Marasmiaceae (2/2)	<i>Marasmius</i> (1), <i>Mycetinis</i> (1)
		Mycenaceae (4/9)	<i>Hemimycena</i> (1), <i>Mycena</i> (6), <i>Panellus</i> (1), <i>Xeromphalina</i> (1)
		Omphalotaceae (2/6)	<i>Gymnopus</i> (4), <i>Marasmiellus</i> (2)
		Pleurotaceae (1/4)	<i>Pleurotus</i> (4)
		Pluteaceae (2/7)	<i>Pluteus</i> (5), <i>Volvariella</i> (2)
		Psathyrellaceae (4/7)	<i>Coprinellus</i> (2), <i>Coprinopsis</i> (2), <i>Homophron</i> (2), <i>Psathyrella</i> (1)
		Pseudoclitocybaceae (2/2)	<i>Bonomyces</i> (1), <i>Flammulina</i> (1)
		Physalacriaceae (1/1)	<i>Armillaria</i> (1)
		Schizophyllaceae (1/2)	<i>Schizophyllum</i> (2)
		Strophariaceae (5/9)	<i>Hypholoma</i> (2), <i>Kuehneromyces</i> (1), <i>Psilocybe</i> (1), <i>Pholiota</i> (3), <i>Stropharia</i> (2)
		Tricholomataceae (2/5)	<i>Leucopaxillus</i> (1), <i>Tricholoma</i> (4)
		Tubariaceae (1/2)	<i>Tubaria</i> (2)
		Typhulaceae (1/1)	<i>Typhula</i> (1)
		Incertae sedis (4/8)	<i>Atractosporocybe</i> (1), <i>Clitocybe</i> (4), <i>Infundibulicybe</i> (2), <i>Leucocybe</i> (1),
		Incertae sedis (1/1)	<i>Cyathus</i> (1)
		Incertae sedis (1/1)	<i>Delicatula</i> (1)
		Incertae sedis (2/3)	<i>Lepista</i> (2), <i>Paralepista</i> (1)
		Incertae sedis (1/1)	<i>Leucocortinarius</i> (1)
		Incertae sedis (1/2)	<i>Melanoleuca</i> (2)
		Incertae sedis (1/1)	<i>Myxomphalia</i> (1)
		Incertae sedis (2/3)	<i>Panaeolina</i> (1), <i>Panaeolus</i> (2)
		Incertae sedis (1/1)	<i>Rhodocollybia</i> (1)
	Amylocorticiales (1/1)	Amylocorticiaceae (1/1)	<i>Plicaturopsis</i> (1)
	Boletales (7/9)	Boletaceae (4/5)	<i>Boletus</i> (1), <i>Leccinum</i> (2), <i>Suillellus</i> (1), <i>Xerocomus</i> (1)
		Paxillaceae (1/1)	<i>Paxillus</i> (1)
		Sclerodermataceae (1/1)	<i>Scleroderma</i> (1)
		Suillaceae (1/2)	<i>Suillus</i> (2)

Окончание таблицы

1	2	3	4
Auriculariomycetidae (1/1)	Auriculariales (1/1)	Auriculariaceae (1/1)	Exidia (1)
Phallomycetidae (3/4)	Gomphales (1/1)	Clavariadelphaceae (1/1)	<i>Clavariadelphus</i> (1)
	Phallales (2/3)	Phallaceae (2/3)	<i>Mutinus</i> (2), <i>Phallus</i> (1)
Incertae sedis (1/1)	Cantharellales (1/1)	Hydnaceae (1/1)	<i>Hydnum</i> (1)
Incertae sedis (1/1)	Gloeophyllales (1/1)	Gloeophyllaceae (1/1)	<i>Gloeophyllum</i> (1)
Incertae sedis (3/4)	Hymenochaetales (3/4)	Hymenochaetaceae (2/3)	<i>Inonotus</i> (1), <i>Phellinus</i> (2)
		Incertae sedis (1/1)	<i>Trichaptum</i> (1)
Incertae sedis (21/28)	Polyporales (21/28)	Cerrenaceae (1/1)	<i>Cerrena</i> (1)
		Dacryobolaceae (1/1)	<i>Postia</i> (1)
		Fomitopsidaceae (1/2)	<i>Fomitopsis</i> (2)
		Incrustoporiaceae (1/2)	<i>Tyromyces</i> (2)
		Irpicaceae (2/2)	<i>Irpex</i> (1), <i>Vitreoporus</i> (1)
		Ischnodermataceae (1/1)	<i>Ischnoderma</i> (1)
		Meruliaceae (2/3)	<i>Climacodon</i> (1), <i>Phlebia</i> (2)
		Phanerochaetaceae (2/2)	<i>Bjerkandera</i> (1), <i>Hapalopilus</i> (1)
		Polyporaceae (8/12)	<i>Cerrioporus</i> (1), <i>Daedaleopsis</i> (1), <i>Fomes</i> (1), <i>Ganoderma</i> (1), <i>Lentinus</i> (2), <i>Lenzites</i> (1), <i>Picipes</i> (1), <i>Trametes</i> (4)
		Steccherinaceae (2/2)	<i>Metuloidea</i> (1), <i>Steccherinum</i> (1)
Incertae sedis (7/22)	Russulales (7/22)	Auriscalpiaceae (2/2)	<i>Artomyces</i> (1), <i>Lentinellus</i> (1)
		Hericiaceae (1/1)	<i>Hericium</i> (1)
		Peniophoraceae (1/1)	<i>Peniophora</i> (1)
		Russulaceae (2/17)	<i>Lactarius</i> (5), <i>Russula</i> (12)
		Stereaceae (1/1)	<i>Stereum</i> (1)
Dacrymycetes (1/1)			
Incertae sedis (1/1)	Dacrymycetales (1/1)	Dacrymycetaceae (1/1)	<i>Ditiola</i> (1)
Tremellomycetes (1/1)			
Incertae sedis (1/1)	Tremellales (1/1)	Tremellaceae (1/1)	<i>Phaeotremella</i> (1)

Крупнейшим по числу видов является порядок Agaricales Underw. (140 видов), далее, составляя вместе с ним пятерку ведущих порядков, идут Polyporales Gäum. (28 видов), Russulales Kreisel ex P. M. Kirk, P. F. Cannon & J. C. David (22 вида), Pezizales J. Schröt. (13 видов) и Boletales E.-J. Gilbert (9 видов), включающие в общей сложности 91.03 % от общего числа видов выявленной микобиоты. Прочие порядки представлены 2-3, чаще одним видом макромицетов. В десятке ведущих семейств, включающей в себя в общей сложности 44.02 % видов изучаемой биоты, на первое место выходит Russulaceae Lotsy (17 видов), далее идут Agaricaceae Chevall. (13 видов), Polyporaceae Fr. ex Corda и Inocybaceae Jülich (по 12 видов), Lycoperdaceae Chevall., Mycenaceae Overeem и Strophariaceae Singer & A. H. Sm. (по 9 видов) (рис. 1).

Остальные семейства представлены меньшим числом видов, в том числе 29 семейств – всего одним видом.

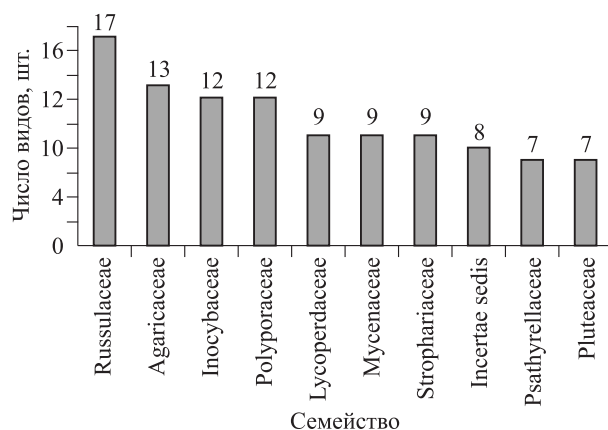


Рис. 1. Ведущие семейства микобиоты макромицетов березовых лесов Красноярска.

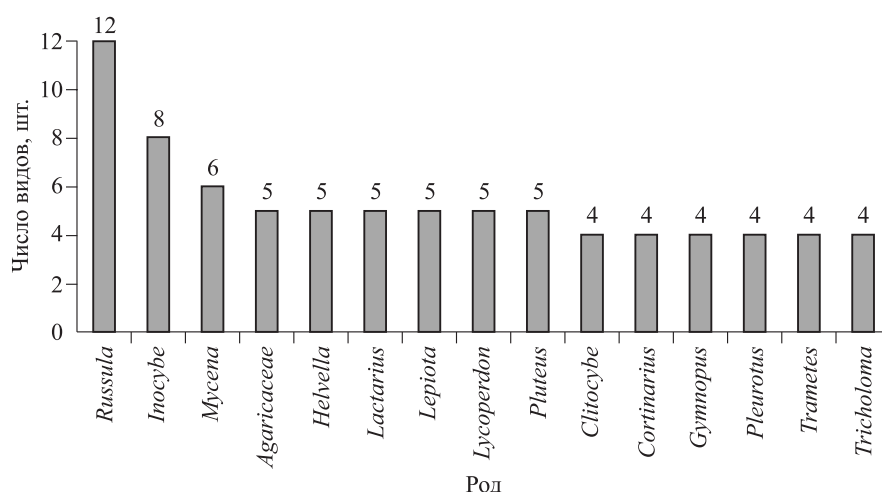


Рис. 2. Ведущие роды микобиоты макромицетов березовых лесов Красноярск.

Лидирующую позицию в числе 20 крупнейших родов выявленной микобиоты занимает род *Russula* Pers. (12 видов), следующими идут агарикоидные базидиомицеты *Inocybe* (Fr.) Fr. (8 видов), *Mycena* (Pers.) Roussel (6 видов), *Agaricus* L., *Helvella* L., *Lactarius* Pers., *Lepiota* (Pers.) Gray, *Lycoperdon* Pers., *Pluteus* Fr. (по 5 видов), прочие роды представлены менее чем 5 видами, из них 85 родов – только одним видом (рис. 2).

Коэффициент видовой насыщенности семейства составляет 3.21, родовой насыщенности семейства 1.85, видовой насыщенности рода – 1.73.

В эколого-трофическом спектре микобиоты исследуемых березняков первое место занимают ксилотрофы (Le, в целом 94 вида), согласно категориям субстрата подразделяемые на три группы (Pd, Lei, Lep) (рис. 3). Далее идут микоризообразователи (Mr, 60 видов), гумусовые сапротрофы (Hu, 50 видов) и сапротрофы на подстилке (St, 22 вида). Представленность других эколого-трофических групп (He, Fd, C, Pm) крайне низка.

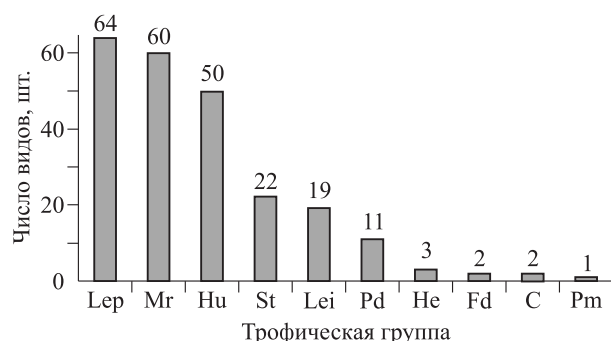


Рис. 3. Эколого-трофический спектр микобиоты макромицетов городских березовых лесов Красноярск.

Грибы, предпочитающие паразитический образ жизни, но способные питаться и сапротрофно (Pd, условно факультативные сапротрофы), представлены 11 видами макромицетов. Наиболее характерным представителем данной группы в исследуемых березняках стал опенок осенний (*Armillaria mellea* s. l.), причем на самом деле этот гриб может встречаться еще чаще, но это нельзя оценить корректно, так как с самого начала плодоношения активно собирается местными жителями.

Также на живых деревьях березы были выявлены единичные находки трутовиков скошенного (*Inonotus obliquus* (Fr.) Pilát) и ложного (*Phellinus igniarius* (L.) Quél.) и чешуйчатки сальной (*Pholiota adiposa* (Batsch) P. Kumm).

В группу грибов, предпочитающих сапротрофный образ жизни, но способных и к паразитизму (Lei, условно факультативные паразиты), входят 19 видов, преимущественно трутовиков. В исследуемых березняках обычным дереворазрушающим грибом является факультативный паразит трутовик настоящий (*Fomes fomentarius* (L.) Fr.) (Крючкова и др., 2021), причем его плодовые тела встречаются преимущественно на средне- и крупномерном сухостое и слабо разрушенном валеже березы. Чаще грибы данной трофической группы встречались на сухостое или свежем валеже березы: трутовики горбатый (*Trametes gibbosa* (Pers.) Fr.), разноцветный (*T. versicolor* (L.) Lloyd), опаленный (*Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst.), вешенка легочная (*Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél.), чешуйчатка обыкновенная (*Pholiota squarrosa* (Vahl) P. Kumm). Наиболее богата видами группа облигатных сапротрофов (Lep), заселяющих исключительно отмершую древесину (64 вида),

в которую помимо трутовых трихептума двоякого (*Trichaptum biforme* (Fr.) Ryvarden), лентиза березового (*Lenzites betulinus* (L.) Fr.) входят агарикоидные – навозник серый (*Coprinopsis atramentaria* (Bull.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo), и сумчатые – скутеллиния щитовидная (*Scutellinia scutellata* (L.) Lambotte, пецица изменчивая (*Peziza varia* (Hedw.) Alb. & Schwein.), макромицеты.

Видов, характеризующихся крайними проявлениями экологической валентности по отношению к субстрату, оказалось мало. Исключительно с древесиной березы ассоциированы лишь трутовик березовый (*Fomitopsis betulina* (Bull.) B. K. Cui, M. L. Han & Y. C. Dai) и *L. betulius*. Остальные выявленные на березе ксилотрофные макромицеты в той или иной степени обычны как для березы, так и для других деревьев лиственных пород бореальных лесов. К самым широко специализированным видам среди ксилотрофов березняка, способным заселять множество и лиственных, и хвойных пород, относится трутовик окаямленный (*F. pinicola* (Sw.) P. Karst).

Обитающих исключительно на коре (Co) или на корнях и погребенной в почве древесине (Lh) грибов не выявлено. Однако несколько видов других эколого-трофических групп периодически встречались на этих субстратах. На коре оснований стволов сухостойных берез часто выявлялся не только ксилотрофный дождевик грушевидный (*Apioperdon pyriforme* (Schaeff.) Vizzini), но и микоризообразующие груздь черный (*Lactarius necator* (Bull.) Pers.) и свинушка тонкая (*Paxillus involutus* (Batsch) Fr.), для которых такой субстрат не типичен. Плодовые тела *A. mellea* s. l. или *Pluteus* sp., иногда встречающиеся на почве, на самом деле развиваются на корнях или погребенной древесине.

Второе место – 60 видов – в трофическом спектре исследуемой микобиоты занимают микоризообразователи. Наиболее многочисленными в биоте микоризообразователей оказались представители семейства Russulaceae (17 видов), в том числе и рода *Russula* (12 видов), как узкоспециализированные виды, ассоциированные исключительно с березой, так и виды с широким кругом симбионтных партнеров. Обычным видом, встречающимся на всех исследованных участках, является сыроежка вонючая (*Russula foetens* Pers.). Относительно невелико число видов рода *Lactarius* (5 видов), из которых обычен *L. necator*. Реже случаются находки волнушек розовой (*L. torminosus* (Schaeff.) Pers.) и белой (*L. pubescens* Fr.). Впрочем, в случае обсуждения

встречаемости съедобных видов всегда нужно учитывать сбор грибов местным населением.

Порядок Boletales принимает ограниченное участие в сложении комплекса микоризообразователей пригородных березняков. Типичным, часто встречающимся его представителем является подберезовик обыкновенный (*Leccinum scabrum* (Bull.) Gray). Так же широко распространен и в некоторые годы дает высокие урожаи эвритопный *P. involutus*. Прочие представители данного порядка, ассоциированные с березой и другими деревьями лиственных пород, – подосиновик желто-бурый (*Leccinum versipelle* (Fr. & Hök) Snell), белый гриб сетчатый (*Boletus reticulatus* Schaeff.), дубовик оливково-бурый (*Suillellus luridus* (Schaeff.) Murrill)) – были представлены единичными находками.

Достаточно большим числом видов оказалось представлено семейство Inocybaceae (8 видов), из которого обычными, часто встречающимися видами являются волоконницы горько-сладкая (*Inocybe dulcamara* (Pers.) P. Kumm.) и трещиноватая (*Pseudosperma rimosum* (Bull.) Matheny & Esteve-Rav.). Довольно низким в пригородных березняках стало видовое разнообразие обычного для бореальных лесов рода *Cortinarius* (Pers.) Gray. Относительно частым можно назвать лишь паутинник обыкновенный (*Cortinarius trivialis* J. E. Lange), прочие выявлялись редко. Наиболее частым в некоторые годы массовым представителем рода мухомор является поплавок серый (*Amanita vaginata* (Bull.) Lam.). Другой эвритопный вид этого рода, мухомор красный (*A. muscaria* (L.) Lam.), встречается редко.

В целом можно отметить довольно низкую (23.33 %) долю видов, проявляющих узкую специализацию в отношении дерева-микоризообразователя, и образующих микоризу исключительно с березой: паутинник триумфальный (*Cortinarius triumphans* Fr.), гебеломы клейкая (*Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.), гидрофор желтовато-белый (*Hygrophorus eburneus* (Bull.) Fr.), гидрофор березовый (*H. hedrychii* (Velen.) K. Kult), *L. necator*, *L. torminosus*, *L. scabrum*, *L. versipelle*, сыроежки зеленая (*Russula aeruginea* Lindblad ex Fr.), *R. foetens*, разнопластинчатая (*R. heterophylla* (Fr.) Fr.), выцветающая (*R. exalbicans* (Pers.) Melzer & Zvára), рядовки желто-бурая (*Tricholoma fulvum* (DC.) Bigeard & H. Guill.) и частопластинковая (*T. stiparophyllum* (N. Lund) P. Karst.). Прочие виды грибов имели более широкий спектр симбионтных партнеров (как правило, лиственных деревьев). Часть грибов, способных образовывать микоризу и с

лиственными, и с хвойными (или только с хвойными) деревьями, обнаруживались в основном у границы искусственных посадок *P. sylvestris*. Так, в подобных местообитаниях довольно часто встречались виды, для которых береза, как правило, не выступает в качестве характерного симбионтного партнера: лаковица розовая (*Laccaria laccata* (Scop.) Cooke), белопаутичник клубненосный (*Leucocortinarius bulbiger* (Alb. & Schwein.) Singer), моховик зеленый (*Xerocomus subtomentosus* (L.) Quél.) и некоторые другие, в том числе обычные симбионты сосны – рядовка землистая (*T. terreum* (Schaeff.) P. Kumm.), масленки зернистый (*Suillus granulatus* (L.) Roussel) и обыкновенный (*S. luteus* (L.) Roussel). Немногочисленные представители рода *Entoloma* (Fr.) P. Kumm., которые, согласно литературным данным, не входят в свиту березы и чаще выступают микоризообразователями древесных и кустарниковых растений семейства Rosaceae Juss., были найдены вблизи деревьев черемухи обыкновенной.

Третье (50 видов) и четвертое (22 вида) место в эколого-трофическом спектре занимают гумусовые и подстилочные сапротрофы. Относящиеся к ним грибы зачастую проявляют широкую трофическую специализацию, поэтому не всегда бывает возможно точно распределить их по эколого-трофическим группам. Гумусовые сапротрофы представлены большим числом таксонов. Несколько представителей родов *Lepista* (Fr.) W. G. Sm., *Paralepista* Raithehl., *Stropharia* (Fr.) Quél., *Melanoleuca* Pat., *Conocybe* Fayod, *Hygrocybe* (Fr.) P. Kumm. и некоторых других спорадически встречаются на почве в березняках, но, как правило, не дают высоких урожаев. Жулианомисес обмазанный (*Zhuliangomyces illinitus* (Fr.) Redhead), говорушка синопская (*Bonomycetes sinopicus* (Fr.) Vizzini), лиофиллум оливково-серый (*Lyophyllum infumatum* (Bres.) Kühner) и другие известны из единичных находок.

Почти четверть гумусовых сапротрофов (12 видов) составляют представители семейства Agaricaceae. Из пяти видов рода *Agaricus*, выявленных в березняках, массовым является шампиньон желтокорый (*Agaricus xanthodermus* Genev.). Этот вид, не приводившийся в монографии М. А. Бегляновой (1972), начали находить в исследуемых березняках на рубеже XX–XXI вв., и уже к началу второго десятилетия он стал встречаться ежегодно и часто в больших количествах (Отнюкова и др., 2012). Обычным представителем рода *Lepiota*, насчитывающего

5 видов, оказалась лепиота щитковая (*Lepiota chlypeolaria* (Bull.) P. Kumm.).

Достаточно большим числом видов (8) представлены гумусовые сапротрофы из числа гастеромицетов, однако встречаемость их невелика. Относительно обычен лишь дождевик жемчужный (*Lycoperdon perlatum* Pers.). Редко и не ежегодно, преимущественно вдоль троп, в березняках можно встретить головачи продолговатый (*L. excipuliforme* (Scop.) Pers.), мешковатый (*Bovistella utriformis* (Bull.) Demoulin & Rebriev) и гигантский (*Calvatia gigantea* (Batsch) Lloyd), дождевик желтокорый (*L. dermoxanthum* Vittad.). Известны единичные находки веселковых грибов: *Phallus* sp., мутинысы собачий (*Mutinus caninus* (Huds.) Fr.) и Равенеля (*M. ravenelii* (Berk.) E. Fisch.) (последний вид чаще, чем остальные перечисленные, встречается в городских лесах Красноярск (Крючкова, 2011)).

Ежегодно и часто вдоль троп встречается большитус золотистый (*Bolbitius titubans* (Bull.) Fr.), более характерный для антропогенно нарушенных экосистем (Иванов, Иванова, 1997). При достаточно большом числе видов напочвенных дискомицетов порядка Pezizales J. Schröt. только один из них – лопасти курчавый (*Helvella crispa* (Scop.) Fr.) – обнаруживался неоднократно, находки прочих были единичны.

Обычными представителями группы подстильных сапротрофов являются марасмиеллус срастающийся (*Marasmiellus confluens* (Pers.) J. S. Oliveira) и говорушка ворончатая (*Infundibulicybe gibba* (Pers.) Harmaja). Прочие представители этих родов, а также виды родов *Gymnopus* (Pers.) Roussel, *Clitocybe* (Fr.) Staude, *Leucocybe* Vizzini, P. Alvarado, G. Moreno & Consiglio встречаются не часто. Массовым плодоношением отличается лишь говорушка дымчатая (*Clitocybe nebularis* (Batsch) P. Kumm.), образующая «ведьмины круги» до 3–5 м диаметром, состоящие из десятков плодовых тел. Типичный представитель обитателей подстилки – род *Muscena* – представлен 6 видами, из которых наиболее часто встречается мицена лимонноокаймленная (*Muscena citrinomarginata* Gillet).

К герботрофам, разрушающим опад травянистых растений (He), относятся 3 вида, более характерных для открытых и антропогенно преобразованных пространств, чем для лесных экосистем: навозник серый (*Panaeolina foenisecii* (Pers.) Maire), панеолус заостренный (*Panaeolus acuminatus* (P. Kumm.) Quél.) и мотыльковый (*P. papilionaceus* (Bull.) Quél.).

Немногочисленная группа макромицетов на опаде (Fd), которые первыми начинают процесс деструкции листового опада березы, представлена негниючками налиственным (*Marasmius epiphyllus* (Pers.) Fr.) и тычинковым (*Gymnopus androsaceus* (L.) Della Magg. & Trassin.). Только пульвинула угольная (*Pulvinula cinnabarina* (Fuckel) Boud.) и миксомфалина горевая (*Myxomphalia maura* (Fr.) Hora) приурочены к такому редкому типу в березняках субстратов, как обугленная древесина (C), остающаяся после разведения костров.

К немногочисленной группе микопаразитов (грибы, паразитирующие на других грибах – Pm) относится ранее считавшийся ксилосапротрофом на валеже лиственных деревьев дрожалка листовая (*Phaeotremella frondosa* (Fr.) Spirin & V. Malysheva). В настоящее время известна способность этого вида паразитировать на дереворазрушающих грибах рода *Stereum* Hill ex Pers.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка богатства микобиоты той или иной территории наглядна в сравнении его с микобиотой других территорий. При этом нужно учитывать, что характеристики их древостоя, напочвенного покрова, размера исследуемых площадей, степени антропогенной нагрузки и других показателей могут существенно различаться. В литературе чаще встречаются сведения о микобиоте березовых лесов вне городской черты. Так, в монодоминантном березняке в Братском районе Иркутской области выявлено 75 видов грибов (Астапенко, Кутафьева, 1990), в числе которых 15 ксилотрофов, 35 микоризообразователей, 17 подстилочных сапротрофов и 8 гумусовых сапротрофов. Для березняков Жигулей (Волго-Уральский регион) известно 113 видов высших базидиомицетов (Малышева В. Ф., Малышева Е. Ф., 2008). В березовых лесах Пензенской области ксилотрофы представлены 59 видами, симбиотрофы – 89 видами (Иванов, 2019). С. П. Арефьев (2010) в целом насчитывает свыше 160 видов афиллофороидных грибов, известных на древесине березы, в том числе 67 видов в Западной Сибири.

В подобном сравнении биота макромицетов городских березовых лесов Красноярска по числу выявленных видов основных эколого-трофических групп может считаться достаточно богатой. Излагаемые в данной работе сведения о макромицетах городских березняков накапливались в течение почти 20 лет. Столь длительный

период сбора материала на расположенной в черте города легкодоступной для исследования территории позволил обнаружить в числе прочих грибы, исключительно редко образующие плодовые тела (единичные находки, 23.93 % всей микобиоты), что значительно расширяет список выявленных видов по сравнению с краткосрочными выездными исследованиями, проведенными на территориях, в меньшей степени подверженных рекреационной нагрузке или даже вовсе не затронутых ею. При этом грибы, выявлявшиеся в исследуемом березняке ежегодно, составляют 34.62 % от всего их видового разнообразия, причем значительная часть из них приходится на трутовые грибы, имеющие относительно долговечные или многолетние плодовые тела. Еще 41.45 % видов встречались периодически, не единично, но и не ежегодно, и являлись преимущественно напочвенными макромицетами.

Исследование разнообразия микобиоты отдельных территорий затрудняется особенностями биологии грибов. Нерегулярность появления плодовых тел наряду с их недолговечностью исключает одномоментное выявление всех присутствующих микоченозу видов макромицетов, и значительная их доля остается частью «подземного (скрытого) разнообразия» (Delgado-Baquerizo et al., 2019), изучить которое традиционными методами невозможно. Даже исследования, проведенные в течение нескольких лет, не гарантируют получения исчерпывающего списка видов, так как не для всех грибов складывались необходимые для плодоношения климатические условия. В случае рекреационного воздействия, видимо, отсутствие плодовых тел может свидетельствовать не об отсутствии мицелия гриба как такового в этом местообитании, а о неприемлемости для его плодоношения условий, не столько климатических, сколько эдафических, складывающихся в результате рекреационной нагрузки в данный момент. Даже при наличии современных молекулярно-генетических методов, позволяющих выявить скрытые в субстрате виды, для установления индикаторных видов оправдано использование традиционных мониторинговых территорий с большим сроком наблюдений, позволяющих установить зависимость изменения разнообразия грибов от отдельных факторов среды (Ширяев, Морозова, 2020). Городские леса представляют собой удачную модель для подобных исследований.

В исследуемой биоте макромицетов наблюдается довольно неравномерное распределение

видов по надвидовым таксонам, характерно высокое число одновидовых семейств и родов. Низкие коэффициенты насыщенности таксонов могут свидетельствовать о том, что в изучаемом биоценозе складываются недостаточно благоприятные условия обитания для их представителей, в результате чего выжить здесь могут лишь самые выносливые из них. Кроме того, многие грибы, создающие видовое разнообразие исследуемой территории, были встречены здесь единично (выявлены лишь однажды и/или представлены одним образцом), т. е. являются исключительно редкими.

Наблюдаемое преобладание в спектре эколого-трофических групп ксилотрофов типично для микобиот лесных экосистем, тем более что именно береза является одной из самых малоустойчивых к дереворазрушающим грибам древесных пород (Арефьев, 2010). Среди них довольно высока доля потенциально способных к паразитизму грибов, что связано со снижением жизненности древостоев в условиях антропогенного стресса, однако они очень редко выявляются на живых березах, предпочитая сухостой и валеж ранних стадий деструкции. Многие виды ксилотрофов, выявленных в березняке (*B. adusta*, *F. fomentarius*, *T. gibbosa*, *T. trogii*, *T. versicolor*, щелелистник обыкновенный (*Schizophyllum commune* Fr. и др.), характеризуются как синантропные, что подчеркивает рекреационную нагрузку на исследуемые леса.

Соотношение числа видов эколого-трофических групп напочвенных макромицетов определяется наличием и состоянием субстратов, на которых они способны развиваться. Рекреационная нагрузка, выражающаяся главным образом в вытаптывании, приводит к нарушению структуры лесной подстилки вплоть до ее исчезновения. Повышается плотность почв, изменяются их свойства, режим влажности и аэрации, что, в свою очередь, сказывается на состоянии пронизывающего их мицелия.

Изменение свойств субстрата напочвенных макромицетов в результате рекреационной нагрузки вызывает выпадение из микобиоты характерных для ненарушенных лесов грибов, не выносящих деградации почвы и подстилки, и появление в ней синантропных видов, характерных для антропогенно преобразованных местообитаний. Известно, что способность березы образовывать микоризу зависит от условий местообитания, в первую очередь от обеспеченности минеральными элементами, доступностью

питательных веществ и гидротермического режима (Бурова, 1986).

В исследуемых березняках относительно велико число видов микоризообразователей и гумусовых сапротрофов. Их мицелий, хотя и страдает во время вытаптывания, но, тем не менее, лучше защищен от механического воздействия, чем мицелий подстилочных сапротрофов и сапротрофов на опаде. Эта закономерность заметна не для всех микоризообразователей. В данном исследовании малочисленным оказался типичный для бореальной микобиоты микоризообразующий род *Cortinarius*, представители которого очень чувствительны к нарушению подстилки (Шубин, 2010).

Наблюдаемая в данном исследовании высокая доля видов рода *Russula*, с одной стороны, характерна для бореальных микобиот, с другой, исходя из численности других родов, свидетельствует о достаточно высокой степени антропогенной нагрузки на биоценоз, так как увеличение видового разнообразия и обилия симбиотрофов, и в особенности рода *Russula*, может быть реакцией дерева на изменение среды его обитания и служить индикатором рекреационного воздействия на леса, сформированные березой (Бурова, 1986). Представители семейства *Inocybaceae* занимают второе место в биоте микоризообразователей.

Наличие в микобиоте напочвенных макромицетов видов, тяготеющих к антропогенно преобразованным местообитаниям (*B. titubans*, *C. atramentaria*) и открытым пространствам (*C. gigantea*), свидетельствует о значительном нарушении березняков как лесной формации и приобретении ими отдельных черт, свойственных лугам и редколесьям.

Важный аспект изучения микобиоты Сибири – выявление местообитаний подлежащих охране видов грибов. В городских березняках за весь период исследований были выявлены несколько видов, внесенных в «Красную книгу Красноярского края» (2012): *C. gigantea*, отидея большая (*Otidea grandis* (Pers.) Rehm), навозник Романьези (*Coprinopsis romagnesia* (Singer) Redhead, Vilgalys & Moncalvo), ежевик коралловидный (*Hericium coralloides* (Scop.) Pers.), *S. luridus*. Из них только один вид – *H. coralloides* – регулярно, часто ежегодно образует плодовые тела на валеже березы поздних стадий деструкции. Прочие краснокнижные виды, выявленные единственным раз, в исследуемых березняках больше не встречались.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленная в результате многолетних исследований микобиота городских березняков Красноярска характеризуется достаточно богатым таксономическим разнообразием, насчитывающим 234 вида макромицетов, но при этом только менее половины из них достаточно регулярно встречаются в исследуемых лесах.

Лидирующие позиции в богатой одновидовыми таксонами микобиоте березняков занимают агариковые, полипоровые и сыроежковые грибы.

В эколого-трофическом спектре резко преобладают ксилотрофные макромицеты, представленные преимущественно широко специализированными сапротрофными дереворазрушающими грибами. Относительно высока доля потенциально паразитических грибов, в том числе синантропных, но они очень редко выявляются на живых березах.

При достаточно высоком числе микоризообразователей в их числе очень высока доля представителей семейств Russulaceae и Inocybaceae.

Значительное число синантропных видов и видов, характерных для открытых пространств среди гумусовых сапротрофов при низком участии подстилочных сапротрофов и грибов других эколого-трофических групп, свидетельствует о заметном влиянии рекреационной нагрузки на комплекс напочвенных макромицетов.

Богатство микобиоты городских березовых лесов, наличие в ней грибов, подлежащих охране, важность их и в рекреационном и исследовательском аспектах как модели для исследования влияния антропогенного стресса на различные компоненты экосистем указывает на необходимость обязательного сохранения в черте города этих лесных массивов.

Автор выражает искреннюю признательность А. В. Толстихитной за помощь в сборе материала для исследований.

Исследования выполнены при поддержке Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности (проект целевого конкурса прикладных научных исследований, направленных на решение проблем городского развития, № 2020061906506).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арефьев С. П. Системный анализ биоты дереворазрушающих грибов. Новосибирск: Наука, 2010. 260 с.
- Астапенко В. В., Кутафьева Н. П. Консортивные связи макромицетов с видами рода *Betula* L. // Микол. и фитопатол. 1990. Т. 24. № 1. С. 3–10.
- Беглянова М. И. Флора агариковых грибов южной части Красноярского края. Ч. 1. Красноярск: КГПИ, 1972. 205 с.
- Бондарцев А. С. Трутовые грибы Европейской части СССР и Кавказа. М.; Л.: Наука, 1953. 1106 с.
- Бурова Л. Г. Экология грибов макромицетов. М.: Наука, 1986. 222 с.
- Вассер С. П. Агариковые грибы СССР. Киев: Наук. думка, 1985. 184 с.
- Иванов А. И. Агарикомицеты (Agaricomycetes) березовых лесов Приволжской лесостепи в пределах Пензенской области // Микол. и фитопатол. 2019. Т. 53. № 5. С. 272–283.
- Иванов А. И., Иванова В. А. Макромицеты рудеральных местообитаний Пензенской области. I. Видовой состав // Микол. и фитопатол. 1997. Т. 31. Вып. 4. С. 10–13.
- Казанская Н. С., Ланина В. В., Марфенина Н. Н. Рекреационные леса. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 96 с. [Kazanskaya N. S., Lanina V. V., Marfenina N. N. Rekreatsionnye lesa (Recreational forests). Moscow: Lesn. prom-st' (For. Indust.), 1977. 96 p. (in Russian)].
- Коваленко А. Е. Экологический обзор грибов из порядков Polyporales s. str., Boletales, Agaricales s. str., Russulales в горных лесах центральной части Северо-Западного Кавказа // Микол. и фитопатол. 1980. Т. 14. № 4. С. 300–314.
- Коваленко А. Е. Определитель грибов СССР. Порядок Hygrophorales. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. 174 с.
- Красная Книга Красноярского края. В 2-х т. Т. 2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений и грибов / Отв. ред. Н. В. Степанов; 2-е изд., перераб. и доп. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2012. 576 с.
- Крючкова О. Е. Гастероидные макромицеты в зеленых насаждениях г. Красноярска и его ближайших окрестностях // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 4. С. 61–64.
- Крючкова О. Е., Яськова С. Г., Тропина Е. Ф., Головнина Н. Н. К экологии эвритрофных дереворазрушающих грибов *Fomes fomentarius* (L.) Fr. и *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. в Красноярске и его окрестностях // Изв. Иркут. гос. ун-та. 2021. Т. 35. С. 34–50.
- Лесной кодекс Российской Федерации № 200-ФЗ (ред. от 02.07.2021 № 304-ФЗ). М., 2006.
- Мальшиева В. Ф., Мальшиева Е. Ф. Высшие базидиомицеты лесных и луговых экосистем Жигулей. М.; СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 242 с.
- Марина Л. В. Агарикоидные базидиомицеты Висимского заповедника (Средний Урал). СПб.: ВИЗР, 2006. 102 с.
- Нездойминого Э. Л. Определитель грибов России. Порядок Агариковые. Вып. 1. Сем. паутинниковых. СПб.: Наука, 1996. 408 с.
- Ниемеля Т. Трутовые грибы Финляндии и прилегающей территории России. Хельсинки: Ун-т Хельсинки, 2001. 120 с.
- Отнюкова Т. Н., Жижаев А. М., Кутафьева Н. П., Дутбаева А. Т. Макромицеты как биоиндикаторы загрязнения окружающей среды территории г. Красноярска и его окрестностей // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 11 С. 101–113.
- Перевозникова В. Д., Зубарева О. Н. Геоботаническая индикация состояния пригородных лесов (на примере березовой рощи Академгородка г. Красноярска) // Экология. 2002. № 1. С. 3–9.

- Скрипальщикова Л. Н., Пономарева Т. В., Бажина Е. В., Барченков А. П., Белянин А. В. Техногенные нагрузки на березняки Красноярской лесостепи // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 130–135.
- Сорокина Г. А., Шикалова Е. А., Пахарькова Н. В. Стрессовое воздействие дорожно-тропиночной сети на растительные сообщества // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27. № 3–4. С. 243–246.
- Татаринцев А. И., Скрипальщикова Л. Н. Эколого-фитопатологическое состояние березняков на территории Красноярской группы районов // Сиб. лесн. журн. 2015. № 2. С. 8–19.
- Ширяев А. Г., Морозова О. В. Широтный градиент разнообразия грибов и сосудистых растений в Европейской части России // Вестн. СПб. гос. ун-та. Науки о Земле. 2020. Т. 65. № 2. С. 245–262.
- Шубин В. И. Значение симбиоза и содержания в почве азота для плодоношения эктомикоризных грибов. I: Значение симбиоза // Микол. и фитопатол. 2010. Т. 44. Вып. 2. С. 130–136.
- Delgado-Baquerizo M., Bardgett R. D., Vitousek P. M., Maestre F. T., Williams M. A., Eldridge D. J., Lambers H., Neuhauser S., Gallardo A., Garcia-Velazquez L., Sala O. E., Abades S. R., Alfaro F. D., Berhe A. A., Bowker M. A., Currier C. M., Cutler N. A., Hart S. C., Hayes P. E., Hseu Z.-Y., Kirchmair M., Pena-Ramirez V. M., Perez C. A., Reed S. C., Santos F., Siebe C., Sullivan B. W., Weber-Grullon L., Fierer N. Changes in belowground biodiversity during ecosystem development // PNAS. 2019. V. 116. Iss. 14. P. 6891–6896.
- Index Fungorum. Index Fungorum Partnership, 2022. <http://www.indexfungorum.org>
- Funga Nordica: Agaricoid, boletoid, clavarioid, cyphelloid and gastroid genera / H. Knudsen, J. Vesterholt (Eds.). 2nd ed. Copenhagen: Nordsvamp, 2012. 1085 p.
- Nordic Macromycetes. V. 3: Heterobasidioid, Aphyllophoroid and Gasteromycetoid basidiomycetes. Gopenhagen: Nordsvamp, 1997. 444 p.
- Perevznikova V. D., Zubareva O. N. Geobotanical indication of the state of suburban forests (an example of birch grove in Akademgorodok, Krasnoyarsk) // Rus. J. Ecol. 2002. V. 33. N. 1. P. 1–6 (Original Russian text © 2002 V. D. Perevznikova, O. N. Zubareva, translated from Ekologiya. 2002. N. 1. P. 3–9).
- Urbonas V., Kalamees K., Lukin V. Conspectum florum Agaricalum fungorum (Agaricales s. l.) Lithuania, Latviae et Estoniae. Vilnius: Mokslas, 1986. 137 p.

MACROMYCETES OF BIRCH FORESTS OF KRASNOYARSK CITY UNDER RECREATIONAL LOAD

O. E. Kryuchkova

Siberian Federal University

Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation

E-mail: ivyry@mail.ru

The results of long-term studies of taxonomic diversity and ecological and trophic features of the mycobiota of urban birch forests of Krasnoyarsk, which are subjected to an average degree of recreational load, are presented. 234 species of macromycetes have been identified, of which only less than half are found regularly, most of them are detected rarely or singly. The main part of the mycobiota, rich in single-species taxa, is made up of fungi of the order *Agaricales* Underw.; in terms of the number of species in the family spectrum, the families *Russulaceae* Lott., *Agaricaceae* Chevall., and *Inocybaceae* Jülich. are the leaders. The generic spectrum is dominated by *Russula* Pers., *Inocybe* (Fr.) Fr. and *Mycena* (Pers.) Roussel. The ecological and trophic structure of the mycobiota is dominated by xylophages, mycorrhiza formers, and humus saprotrophs. Widely specialized xylosaprotrophs predominate over xyloparasites, which are rarely found on living trees. Among the mycorrhiza-forming species, the proportion of representatives of the *Russulaceae* and *Inocybaceae* families is high. Among the humus saprotrophs, there are species characteristic of both forests and open habitats. The presence of a large number of synanthropic species in the dominant taxonomic and ecological-trophic groups of macromycetes indicates a pronounced impact of recreational pressure on the formation of mycobiota in urban forests. On the fallen birch, *Hericium coralloides* (Scop.) Pers., listed in the Red Data Book of Krasnoyarsk Krai, is regularly found. Several more rare species of fungi subject to protection were identified in the study area in previous years.

Keywords: mycobiota of urban birch forests, taxonomic diversity, trophic specialization, anthropogenic impact.

How to cite: Kryuchkova O. E. Macromycetes of birch forests of Krasnoyarsk city under recreational load // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 5. P. 34–45 (in Russian with English abstract and references).

УДК 712.4

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ АРБОРИФЛОРЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАРКА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

М. А. Кириенко, И. А. Гончарова

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

E-mail: lma7878@mail.ru, iagoncharova007@mail.ru

Поступила в редакцию 18.05.2022 г.

Изучены видовой состав и жизненное состояние древесных и кустарниковых растений, произрастающих на территории Центрального парка г. Красноярск, оценено их жизненное состояние, изучены структура насаждения парка, биоразнообразие его арборифлоры, определены доминантные и единичные виды, даны рекомендации для улучшения видового состава и качества зеленых насаждений. Исследования проводились в августе 2021 г. Оценка видового разнообразия, жизненного и санитарного состояния древесно-кустарниковой растительности парка выполнялась методом сплошного перечета деревьев. Индекс жизненного состояния зеленых насаждений определен с использованием общепринятой методики визуальной оценки растительности и составлял 1.99, что соответствовало ослабленному состоянию. Установлено, что арборифлора парка представлена 86 видами растений, в том числе 39 видами деревьев, 46 кустарников и 1 видом лиан. Определена структура насаждения парка, выявлены ее особенности, установлены виды, вносящие основной вклад, а также наиболее устойчивые и ослабленные. На основе анализа полученных результатов сформулированы рекомендации по улучшению состояния насаждения Центрального парка Красноярск. Предложения по реконструкции парка целесообразно применять при озеленении городских пространств в сходных экологических условиях.

Ключевые слова: *древесные и кустарниковые растения, категории жизненного состояния, видовой состав.*

DOI: 10.15372/SJFS20220504

ВВЕДЕНИЕ

Зоны парков в крупных городах выполняют важную экологическую роль, способствуя улучшению качества воздуха и снижению шума, а также являются средой обитания представителей флоры и фауны. Городские парки и скверы представляют собой предмет изучения многих исследователей (Konijnendijk, 1997; Полякова, Гутников, 2000; Швецова и др., 2021). Центральный парк Красноярск находится на левом берегу Енисея, в исторической части города, занимая площадь в 15 га (Центральный парк..., 2022). В 1828 г. по распоряжению первого губернатора А. П. Степанова участок городского леса от Енисея до р. Кача отвели под городской парк. Сначала его огородили забором, а позднее прорубили просеки-аллеи, построили беседки и павильо-

ны. В образовавшихся прогалинах проводились посадки новых видов древесных растений, в результате чего менялись флористический состав и внешний облик парка. К настоящему времени сохранилось значительное количество реликтовых хвойных деревьев, появившихся здесь еще задолго до официального учреждения парка. На сегодняшний день возраст реликтовых сосен (*Pinus* L.) и лиственниц (*Larix* Mill.) составляет в среднем 140–145 лет. Нынешние реликты – второе поколение исходного хвойного леса. Практически все представители реликтовой части арборифлоры парка являются основными лесобразующими видами Сибири.

Работы по изучению состояния зеленых насаждений Центрального парка проводились периодически (Зубарева, 2000; Зубарева и др., 2021), но часто охватывали не всю территорию,

а лишь северо-западную и юго-восточную части. В связи с планируемой в 2022 г. реконструкцией парка возникла необходимость в полной инвентаризации арборифлоры и анализа ее состояния.

Цель работы – определить видовой состав древесных и кустарниковых видов, произрастающих на территории Центрального парка г. Красноярска, оценить их жизненное состояние, изучить структуру насаждения парка, биоразнообразие его арборифлоры, определить доминантные и единичные виды, дать рекомендации для улучшения видового состава и качества зеленых насаждений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись на территории Центрального парка Красноярска в августе 2021 г. (рис. 1).

Проведен сплошной пересчет древесной и кустарниковой флоры парка с установлением видового названия, жизненной формы растений, категории жизненного состояния, поражения фитопатогенными заболеваниями и повреждения энтомофитовредителями. Жизненное состояние оценивалось по 7-балльной оценочной шкале (Постановление..., 2021). Инфекционные болезни диагностировали по комплексу макропризнаков: специфические анатомо-морфологические нарушения у деревьев, репродуктивные образования возбудителей с использованием справочной литературы и определителей (Черемисинов и др., 1970; Кузьмичев и др., 2004).



Рис. 1. Центральный парк Красноярска на спутниковом снимке (Google Earth, 2022).

Индекс состояния насаждения рассчитан по формуле (Шяптяене, 1987)

$$I = \frac{n_1 \cdot I + n_2 \cdot II + n_3 \cdot III + n_4 \cdot IV + n_5 \cdot V \dots}{n_{\text{общ}}},$$

где n_1 – n_7 , $n_{\text{общ}}$ – число растений, шт.; I–VII – индекс категории жизненного состояния.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Арборифлора Центрального парка представлена 86 видами растений, в том числе 39 видами деревьев, 46 видами кустарников и 1 видом лиан, произрастающих в виде аллейных и групповых посадок, солитёров, боксетов, насчитывающих 4470 шт. растений, в том числе 4133 шт. деревьев, 337 шт. кустарников (см. таблицу), а также деревья и кустарники, произрастающие в живых изгородях общей протяженностью 582 пог. м и рядовых посадках 50 пог. м.

Протяженность живых изгородей
и рядовых посадок, пог. м

Живая изгородь:

ель сибирская	282
клен ясенелистный	171
сирень венгерская	45
вяз мелколистный	42
дрок красильный	42
Итого ...	582
Рядовые посадки	50

На основании анализа жизненного состояния арборифлоры Центрального парка Красноярска рассчитан индекс состояния насаждения, который составил 1.99, что соответствует ослабленному состоянию.

Количественный анализ видового состава свидетельствует о неравномерности распределения видов в структуре арборифлоры парка (рис. 2).

На долю 17 видов приходится 92 % всей древесно-кустарниковой растительности парка, тогда как оставшиеся 8 % представлены 69 видами растений. Виды, составляющие менее 1 % от общего количества деревьев, не представлены на диаграмме.

Масштабные посадки видов, доминирующих сейчас в парке, начались в 1950–1960 гг. Предпочтение отдавалось быстрорастущим, дающим много зеленой массы видам, из которых

Видовой состав и жизненное состояние арборифлоры Центрального парка

Видовое название	Жиз- ненная форма	Категория жизненного состояния							Всего, шт.	Доля вида в составе насаждения парка, %
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Барбарис амурский (<i>Berberis amurensis</i> Rupr.)	к	0	2	0	0	0	0	0	2	0.04
Б. обыкновенный ф. пурпурная (<i>B. vulgaris</i> f. <i>atropurpurea</i> Regel)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Б. обыкновенный (<i>B. vulgaris</i> L.)	к	6	1	1	0	0	0	0	8	0.18
Б. корейский (<i>B. koreana</i> Palib.)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Б. Тунберга (<i>B. thunbergii</i> DC.)	к	1	1	0	0	0	0	0	2	0.04
Бархат амурский (<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.)	д	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
Береза (<i>Betula</i> sp.)	д	30	1	1	0	0	1	0	33	0.74
Б. повислая Юнги (<i>B. pendula</i> Youngi)	д	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Б. повислая (<i>B. pendula</i> Roth)	д	34	44	8	0	0	3	1	90	2.01
Б. пушистая (<i>B. pubescens</i> Ehrh.)	д	29	13	1	0	0	0	1	44	0.98
Береза пушистая ф. серебристая (<i>Betula pubescens</i> Ehrh.)	д	3	0	1	0	0	0	0	4	0.09
Бересклет европейский (<i>Euonymus europaeus</i> L.)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Боярышник зеленомясый (<i>Crataegus chlorosarca</i> Maxim.)	к	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
Б. кроваво-красный (<i>C. sanguinea</i> Pall.)	к	2	0	1	0	0	0	0	3	0.07
Б. перистонадрезанный (<i>C. pinnatifida</i> Bunge)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Бузина обыкновенная (<i>Sambucus racemosa</i> L.)	к	1	6	8	0	0	0	0	15	0.34
Виноград девичий пятилистковый (<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.)	л	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Вишня (<i>Cerasus</i> sp.)	к	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
В. войлочная (<i>Prunus tomentosa</i> Thunb.)	к	6	0	0	0	0	0	0	6	0.13
Вяз гладкий (<i>Ulmus laevis</i> Pall.)	д	10	23	16	0	0	0	1	50	1.12
В. приземистый (<i>U. parvifolia</i> Jacq.)	д	25	79	82	32	0	8	1	227	5.08
Груша (<i>Pyrus</i> sp.)	д	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
Г. уссурийская (<i>P. ussuriensis</i> Maxim. ex Rupr.)	д	53	30	5	1	0	0	0	89	1.99
Дрок красильный (<i>Genista tinctoria</i> L.)	к	2	6	0	0	0	0	0	8	0.18
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.)	д	30	1	1	0	0	0	0	32	0.72
Ель (<i>Picea</i> sp.)	д	1	16	2	0	0	0	0	19	0.43
Е. обыкновенная (<i>P. abies</i> (L.) H. Karst.)	д	1	2	1	0	0	0	0	4	0.09
Е. колючая ф. голубая (<i>P. pungens</i> f. <i>glauca</i> (Regel) Beissn.)	д	10	31	0	2	0	1	0	44	0.98
Е. колючая (<i>P. pungens</i> Engelm.)	д	1	1	0	0	0	0	0	2	0.04
Е. сибирская ф. голубая (<i>P. obovata</i> var. <i>coerulea</i> Malyshev)	д	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Е. сибирская (<i>P. obovata</i> Ledeb.)	д	157	215	28	4	1	4	0	409	9.15
Жостер слабительный (<i>Rhamnus cathartica</i> L.)	к	0	3	4	2	0	0	0	9	0.20
Ива (<i>Salix</i> sp.)	к	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
И. белая (<i>S. alba</i> L.)	д	0	1	1	0	0	0	0	2	0.04
И. трехтычинковая (<i>S. triandra</i> L.)	к	0	1	0	0	0	0	0	1	0.02
Ирга круглолистная (<i>Amelanchier ovalis</i> Medik.)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Калина гордовина (<i>Viburnum lantana</i> L.)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
К. обыкновенная (<i>V. opulus</i> L.)	к	1	1	0	0	0	0	0	2	0.04
Карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i> Lam.)	к	2	5	0	0	0	0	0	7	0.16
Кизильник блестящий (<i>Cotoneaster lucidus</i> Schltdl.)	к	0	1	0	0	0	0	0	1	0.02
К. черноплодный (<i>C. melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt)	к	55	55	23	1	0	0	0	134	3.00
Клен мелколистный (<i>Acer mono</i> Maxim.)	д	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
К. приречный (<i>A. ginnala</i> (Maxim.) Maxim.)	д	0	1	0	0	0	0	0	1	0.02
К. ясенелистный (<i>A. negundo</i> L.)	д	453	518	306	91	3	31	29	1431	32.01
Крыжовник (<i>Grossularia</i> sp.)	к	0	1	0	0	0	0	0	1	0.02
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	д	104	111	7	0	0	1	2	225	5.03
Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i> Ledeb.)	д	16	60	21	0	0	0	3	100	2.24
Лох серебристый (<i>Elaeagnus commutata</i> Bernh. ex Rydb.)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Микробиота перекрёстнопарная (<i>Microbiota decussata</i> Kom.)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Миндаль степной (<i>Prunus tenella</i> Batsch)	к	4	1	0	0	0	0	0	5	0.11
Можжевельник казацкий (<i>Juniperus sabina</i> L.)	к	3	0	0	0	0	0	0	3	0.07
Орех маньчжурский (<i>Juglans mandshurica</i> Maxim.)	д	4	0	0	0	0	0	0	4	0.09
Осина (тополь дрожащий) (<i>Populus tremula</i> L.)	д	0	1	3	0	0	0	1	5	0.11
Пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i> Ledeb.)	д	23	12	5	0	0	0	0	40	0.89
Пузыреплодный калинолистный (<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.)	к	9	0	0	0	0	0	0	9	0.20
П. калинолистный Диабло (<i>Ph. opulifolius</i> Diablo (L.) Maxim.)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Рододендрон даурский (<i>Rhododendron dauricum</i> L.)	к	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
Роза иглистая (<i>Rosa acicularis</i> Lindl.)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Р. морщинистая (<i>R. rugosa</i> Thunb.)	к	2	1	0	0	0	0	0	3	0.07
Рябина (<i>Sorbus</i> sp.)	д	0	2	0	0	0	0	0	2	0.04
Р. обыкновенная (<i>S. aucuparia</i> L.)	д	48	29	10	1	0	3	1	92	2.06
Рябинник рябинолистный (<i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A. Braun)	к	6	0	0	0	0	0	0	6	0.13
Сирень венгерская (<i>Syringa josikaea</i> J. Jacq. ex Rehb.)	к	5	47	13	1	0	0	0	66	1.48
С. обыкновенная (<i>S. vulgaris</i> L.)	к	2	4	0	0	0	0	0	6	0.13
С. Престона (<i>S. x prestoniae</i> McKelvey)	к	0	1	0	0	0	0	0	1	0.02
Смородина золотистая (<i>Ribes aureum</i> Pursh)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Сосна кедровая сибирская (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour)	д	23	0	0	0	0	0	0	23	0.51
С. обыкновенная (<i>P. sylvestris</i> L.)	д	170	273	52	6	1	22	0	524	11.72
Спирея (<i>Spiraea</i> sp.)	к	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
С. острозубчатая (<i>Spiraea</i> × <i>arguta</i> Zabel)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
С. Дугласа (<i>S. douglasii</i> Hook.)	к	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
С. средняя (<i>S. media</i> Schmidt)	к	1	1	1	0	0	0	0	3	0.07
С. японская (<i>S. japonica</i> L. f.)	к	4	3	0	0	0	0	0	7	0.16

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
С. японская Магритте (<i>Spiraea japonica</i> Magritte L.)	к	2	0	0	0	0	0	0	2	0.04
С. японская Gold mound (<i>Spiraea japonica</i> Gold mound)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i> L.)	д	10	35	48	15	0	21	5	134	3.00
Т. белый (<i>P. alba</i> L.)	д	14	6	1	0	0	0	0	21	0.47
Т. белый пирамидальный (<i>P. alba pyramidalis</i> Bunge)	д	7	4	2	0	0	0	0	13	0.29
Чай курильский мелколистный (<i>Dasiphora parvifolia</i> (Fisch.) Juz.)	к	1	0	0	0	0	1	0	2	0.04
Черемуха Маака (<i>Padus maackii</i> Rupr.)	д	0	10	0	3	0	2	0	15	0.34
Ч. обыкновенная (<i>P. avium</i> Mill.)	д	62	89	17	9	0	4	8	189	4.23
Чубушник тонколистный Необычный (<i>Philadelphus tenuifolius</i> Rupr. et Maxim)	к	1	0	0	0	0	0	0	1	0.02
Яблоня (<i>Malus</i> sp.)	д	20	7	1	0	0	0	0	28	0.63
Я. Недзвецкого (<i>M. niedzwetzkyana</i> Dieck ex Koehne)	д	18	0	0	0	0	0	0	18	0.40
Я. ягодная (<i>M. baccata</i> (L.) Borkh.)	д	57	49	24	5	0	0	0	135	3.02
Ясень пенсильванский (<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh.)	д	45	15	10	5	0	0	0	75	1.68
Итого по категориям состояния:										
шт.		1607	1820	705	178	5	102	53	4470	100.00
%		36.0	40.7	15.8	4.0	0.1	2.3	1.2	100.0	

Примечание. Растения, произрастающие в составе живых изгородей, рядовых посадок и боксах, не представлены.

можно было за короткий срок сформировать зеленые насаждения на большой площади. Такой подход к озеленению города был типичным в индустриальный период. Именно поэтому в Центральном городском парке наибольший удельный вес в структуре насаждений занимает такой инвазивный вид, как клен ясенелистный (32.01 %, 1431 шт.) (рис. 2) – недолговечный, но устойчивый к техногенному воздействию вид (Кулагин, 1974), хорошо подходящий для озеле-

нения промышленных зон, но не мест массового отдыха горожан.

На сегодняшний день возраст некоторых экземпляров клена составляет 60–70 лет, что соответствует VI–VII классу возраста лиственных насаждений. Такие деревья являются перестойными, имеют множественные структурные изъяны ствола: стволовые и комлевые гнили, сопровождающиеся обильным выделением экссудата, сухобочины, отслоение коры, дупла, за-

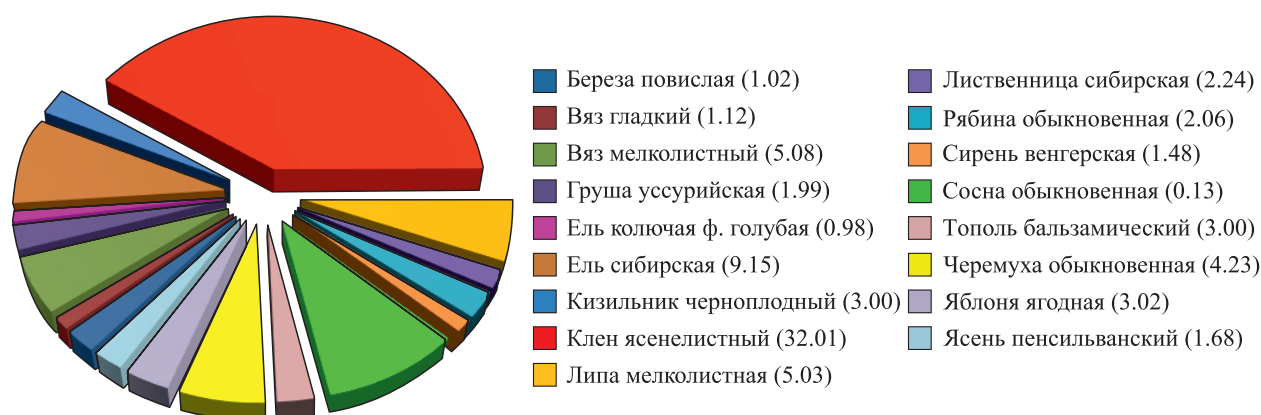


Рис. 2. Распределение основных древесных видов в Центральном парке Красноярск, % от общего количества видов в парке.



Рис. 3. Структурные изъяны стволов деревьев клена ясенелистного, произрастающего на территории Центрального парка Красноярска.

а – плодовые тела дереворазрушающих грибов; *б* – дупло.

селены или отработаны энтомовердителями, имеют плодовые тела дереворазрушающих грибов (рис. 3).

Дополнительным фактором, ослабляющим деревья клена, является их высокая густота. На некоторых участках (северо-восточная часть парка) клены образуют практически монодоминантные насаждения, где деревья произрастают в крайне загущенном состоянии, что сказывается на недостатке их площади питания. Пытаясь вынести крону в более благоприятные условия освещенности, деревья переплетаются кронами, вследствие чего происходит частичное или полное усыхание крон, искривление стволов, имеющих опасный угол наклона, порой достигающий 60–70°, прирост по диаметру крайне незначительный либо вовсе отсутствует. Конкурируя за свет и питательные вещества, деревья угнетают друг друга, что сказывается на их росте и развитии. Особенно страдают молодые экземпляры клена, оказавшиеся под пологом такого насаждения.

Следующие за кленом по представленности древесные виды – сосна обыкновенная (524 шт., 9 % от общего количества деревьев) и ель сибирская (409 шт., 7 %).

В настоящее время сохранилось 395 экз. реликтовых сосен, большая часть из них (337) произрастает в северо-восточной части парка и значительно меньше (58) – в его западной части (рис. 4).

К сожалению, 16 экз. на сегодняшний день являются сухостойными и подлежат удалению. Из оставшихся 379 сосен у 17 шт. зеленая крона практически отсутствует, усыхание составляет более 2/3, на стволах значительные сухобочины, отслоение коры, дупла, а также имеются признаки заселения энтомовердителями (летные отверстия, буровая мука).

Ввиду сильно ослабленного состояния, усыхание таких сосен в ближайшие годы продолжится, что впоследствии может привести к их полной гибели.

Деревья сосны, имеющие III категорию жизненного состояния (усыхание кроны от 1/4 до 1/2 общего объема), составляют 14 % от общего числа вида. Средняя высота их составляет 14–15 м. Основная проблема таких деревьев заключается в том, что вследствие своей небольшой высоты, сосны оказались в одном пологе с кленом ясенелистным, вязом мелколистным и черемухой обыкновенной, что привело к межвидовой конкуренции.



Рис. 4. Реликтовые экземпляры сосны обыкновенной, произрастающей на территории Центрального парка Красноярска.

Также на территории парка сохранилось несколько экземпляров реликтовых деревьев лиственницы сибирской в удовлетворительном состоянии, что свидетельствует об устойчивости данного вида в экологически сложных условиях города Красноярска. Под устойчивостью понимается способность растений противостоять воздействию экстремальных факторов среды (почвенная и воздушная засуха, засоление почв, низкие температуры, воздействие загрязняющих веществ, энтомовредители и фитопатогены) (Биологический энциклопедический словарь, 1986). Доля лиственницы сибирской в структуре насаждений парка составляет лишь 1.8 % (103 шт.), в том числе молодые посадки.

Среди наиболее устойчивых древесных видов, произрастающих в парке, – груша уссурийская (1.99 % от общего количества) и ясень пенсильванский (1.68 %), причем доля деревьев без признаков ослабления либо слегка ослабленных составляет 94 и 84 % соответственно.

Установлено, что для таких видов, как тополь бальзамический (в том числе гибриды свободного опыления), вяза мелколистный и гладкий преобладает доля деревьев II и III категории жизненного состояния. Обусловлено это в большей степени возрастом насаждений. Значительная часть посадок этих деревьев была сделана в 60–70-х годах прошлого века.

У сильно ослабленных деревьев (III категория жизненного состояния) перечисленных выше видов отмечены гнили, сокоотечение, экссудативные выделения, раковые заболевания,

наличие плодовых тел дереворазрушающих грибов, грибковые поражения листьев, многочисленные волчковые побеги, капповые образования на стволах.

Следует отметить, что за последние годы в Центральном парке высажены такие виды деревьев, как ясень пенсильванский, яблоня ягодная, рябина обыкновенная, груша уссурийская, сосны обыкновенная и кедровая сибирская, ель сибирская, лиственница сибирская, а также кустарники: смородина золотистая, спирея (различные виды), бересклет европейский, сирень венгерская, жостер слабительный, барбарисы (различные виды) и др.

Стоит особо отметить ценные и устойчивые виды, произрастающие на территории парка, такие как бархат амурский, ель колючая ф. голубая, орех маньчжурский, тополь белый, яблоня Недзвецкого, ясень пенсильванский. В условиях Красноярска данные виды успешно произрастают, плодоносят и дают жизнеспособное потомство, отличаются декоративностью (Протопопова, 1972). Несмотря на значительное число видов (86), произрастающих в парке, многие из них представлены всего 1–2 экз.

Центральная аллея парка, созданная в 1950–1960 гг., представлена рядовой посадкой из ели сибирской и ели колючей ф. голубая. Она является композиционной осью парка. Данные древесные виды хорошо себя чувствуют в сложных экологических условиях крупного промышленного города, об этом свидетельствуют результаты обследования насаждений. Значительная



Рис. 5. Следствие межвидовой конкуренции клена ясенелистного и ели сибирской, произрастающей в живой изгороди.

часть (96 %) деревьев ели колючей ф. голубая имеют I и II категории жизненного состояния (см. таблицу). Следует отметить, что негативным фактором, оказывающим влияние на состояние елей, является деятельность заведений общепита, расположенных в непосредственной близости от произрастающих на территории парка деревьев.

Среднее значение (III) категории жизненного состояния живой изгороди из ели сибирской, произрастающей вдоль ограждения парка со стороны улиц Карла Маркса и Дубровинского, свидетельствует о том, что в ее составе много усыхающих и сухостойных деревьев. Вследствие перегущенности и угнетения со стороны клена ясенелистного и тополя бальзамического значительное количество растений отстали в росте, а также имеют большое количество сухих ветвей в кроне. В некоторых местах кроны кленов нависают над изгородью настолько, что это привело к их усыханию целыми участками. Такую конкуренцию за условия освещения не выдерживает даже теневыносливая ель (рис. 5).

В местах, свободных от угнетающих ее деревьев, растения в живой изгороди находятся в хорошем состоянии, имеют полноценную, развитую зеленую крону и высоту до 10 м. Средняя высота живой изгороди составляет 3 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Древесная растительность Центрального парка представлена 86 видами растений, в том числе 39 видами деревьев, 46 видами кустар-

ников и 1 видом лиан, произрастающих в виде аллеиных и групповых посадок, солитёров, боксетов, насчитывающих 4470 экз. растений, в том числе 4133 деревьев, 337 кустарников, а также деревья и кустарники, произрастающие в живых изгородях, общей протяженностью 582 пог. м и рядовых посадках 50 пог. м. Индекс состояния насаждений парка составляет 1.99, что соответствует ослабленному состоянию.

В структуре насаждений Центрального парка наибольший удельный вес имеет клен ясенелистный (32.01 %, 1431 шт.).

Несмотря на значительное число видов (86), произрастающих в парке, многие из них представлены 1–2 экз. На долю 17 видов приходится 92 % всей древесно-кустарниковой растительности парка, тогда как оставшиеся 8 % представлены 69 видами.

В настоящее время на территории парка сохранилось 395 экз. реликтовых сосен, большая часть из них (337) произрастает в его северо-восточной части, и значительно меньше (58) – в западной. Некоторые деревья сосны испытывают межвидовую конкуренцию, что приводит к ухудшению их жизненного состояния.

Среди наиболее устойчивых древесных видов, произрастающих в парке, – груша уссурийская и ясень пенсильванский. Доля их участия в общей структуре арборифлоры парка составляет 1.99 и 1.68 %, причем доля деревьев без признаков ослабления либо слегка ослабленных составляет 94 и 84 % соответственно.

Для улучшения видового состава и качества зеленых насаждений рекомендуется выполнение ряда мероприятий:

1. Удалить деревья IV–VII категории жизненного состояния. Исключение составляют реликтовые экземпляры сосны обыкновенной, имеющие IV категорию жизненного состояния, поскольку они представляют высокую историческую ценность.

2. Поэтапно заменить недолговечный, инвазивный клен ясенелистный на деревья других видов, отличающиеся большей устойчивостью и декоративностью, не уступающих клену по объему зеленой массы, например орех маньчжурский, ясень пенсильванский, тополь белый, липа мелколистная, ива белая, бархат амурский, ель колючая ф. голубая, ель колючая, в виде солитеров или групповых посадок, с введением под полог деревьев декоративно-лиственных кустарников.

3. Ежегодный контроль и регуляция численности самосева и поросли клена ясенелистного, произрастающего на территории Центрального парка.

4. Для сохранения ценных реликтовых деревьев сосны обыкновенной необходимо осветлить кроны сосен, устранив фактор межвидовой конкуренции, минимизировать антропогенное воздействие на почву, для чего следует разместить дорожно-тропиночную сеть и объекты аттракции вдали от деревьев.

5. Для улучшения состояния живой изгороди из ели сибирской удалить деревья IV–VII категории жизненного состояния, а также отставшие в росте и угнетенные и осветлить изгородь путем удаления нависающих над ней ветвей и/или стволов клена ясенелистного и тополя бальзамического, формировать одно-двухрядные насаждения.

6. Увеличить долю видов, устойчивых к промышленному загрязнению, а также обладающих высокими декоративными свойствами в структуре дендрофлоры парка.

Вышеперечисленные предложения по реконструкции парка целесообразно применять при озеленении городских пространств в сходных экологических условиях.

Работа выполнена в рамках базового проекта фундаментальных исследований Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (№ 0287-2021-0009) «Функционально-динамическая индикация биоразнообразия лесов Сибири».

Авторы выражают благодарность Ю. В. Кладько и М. Ю. Яценко за помощь в сборе материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Биологический энциклопедический словарь.* М.: Сов. энцикл., 1986. 831 с.
- Зубарева О. Н.* Состояние растительности в парках г. Красноярска и их роль в улучшении окружающей среды // Проблемы экологии и развития городов: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 5–6 июня 2000 г. Красноярск: КГТА, 2000. С. 122–123.
- Зубарева О. Н., Прысов Д. А., Буланова О. С.* Анализ состояния зеленых насаждений Центрального парка города Красноярска // Сиб. лесн. журн. 2021. № 6. С. 46–58.
- Кузьмичев Е. П., Соколова Э. С., Мозолевская Е. Г.* Болезни и вредители в лесах России: Справочник. М.: ВНИИЛМ, 2004. Т. 1: Болезни древесных растений. 120 с.
- Кулагин Ю. З.* Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с.
- Полякова Г. А., Гутников В. А.* Парки Москвы: экология и флористическая характеристика. М.: ГЕОС, 2000. 405 с.
- Постановление № 273 от 16.04.2021 «Об утверждении правил создания, содержания и охраны зеленого фонда города Красноярска».* Красноярск: Админ. г. Красноярска, 2021.
- Протопопова Е. Н.* Рекомендации по озеленению городов и рабочих поселков Средней Сибири. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1972. 148 с.
- Черемисинов Н. А., Негруцкий С. Ф., Лешковцева И. И.* Грибы и грибные болезни деревьев и кустарников: Справочное пособие для определения грибов по растениям-хозяевам. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 392 с.
- Центральный парк: вчера и сегодня.* Красноярск, 2022.
- Швецова М. С., Зиньковская И. И., Мададзада А. И., Нехорошков П. С.* Изучение элементного состава древесных и кустарниковых растений на территории рекреационных зон Москвы // Экол. урбанизир. терр. 2021. № 3. С. 39–50.
- Шпятенев Я. А.* О выборе показателей для мониторинга лесных экосистем // Биомониторинг лесных экосистем. Каунас, 1987. С. 108–111.
- Konijnendijk C. C.* A short history of urban forestry in Europe // J. Arboricult. 1997. V. 23. N. 1. P. 31–39.

INVENTORY OF ARBORIFLORA AT KRASNOYARSK CENTRAL PARK

M. A. Kirienko, I. A. Goncharova

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

E-mail: lma7878@mail.ru, iagoncharova007@mail.ru

The woody and shrubby plants species composition and vital status at the territory of Krasnoyarsk Central Park were studied. The purpose of the work is to determine the tree and shrub species composition at the territory of the Central Park, to assess their vital status, to study the arboriflora structure and biodiversity, to identify dominant and single species, to give recommendations for improving the species composition and plantings quality. The studies were carried out in August 2021. The assessment of the species diversity, vital and sanitary condition of the park's tree and shrub vegetation was carried out by the method of a complete enumeration of trees. The planting vital index determination was carried out using the generally accepted method of visual assessment of tree and shrub vegetation. It has been established that the Central Park arboriflora is represented by 86 species of plants, including: 39 species of trees, 46 species of shrubs and 1 species of vines. Arboriflora consists of 4470 plant (4133 trees, 337 shrubs), growing in the alley cropping, group planting, solitaires, boskets (total length 582 m) as well as hedge grow (50 m). The plantings vitality index is 1.99, which corresponds to a weakened or slightly damaged stands. The arboriflora structure was determined, its features were identified. The species that make the main contribution were identified. The most stable and weakened species of the park's arboriflora were identified. Recommendations to stand developing of Krasnoyarsk Central Park were formulated based on the obtained results. It is advisable to apply park reconstruction proposals for urban spaces landscaping in similar environmental conditions.

Keywords: *woody and shrubby plants, life status categories, species composition.*

How to cite: Kirienko M. A., Goncharova I. A. Inventory of arboriflora at Krasnoyarsk Central Park // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 5. P. 46–55 (in Russian with English abstract and references).

UDC 630*813

THERMAL ANALYSIS AND PYROLYSIS-GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROMETRY OF FOSSIL WOOD FROM OF BÜKKÁBRÁNY, HUNGARY

O. A. Shapchenkova¹, S. R. Loskutov¹, M. A. Plyashechnik¹, Z. Pásztor²

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

² University of Sopron
Bajcsy-Zsilinszky 4, Sopron, H-9400 Hungary

E-mail: shapchenkova@mail.ru, lsr@ksc.krasn.ru, lilwood@ksc.krasn.ru, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Received 04.05.2022 z.

Fossil wood that is ca 7 million years old from Bükkábrány (Hungary) was analyzed by thermogravimetry (TG), differential scanning calorimetry (DSC) and pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS) to evaluate alterations of its chemical composition. A wood sample of bald cypress (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) from West Hungary was taken as a reference. The fossil wood was characterized by higher contents of total carbon (58.05 %) and total nitrogen (0.44 %) compared to recent wood. TG of fossil wood showed a high heterogeneity of wood substance, significant loss of polysaccharides and enrichment by lignin including more thermally stable components (> 500 °C). The enthalpy change (ΔH) of combustion (thermo-oxidation) for fossil wood was significantly higher than for recent wood (–18.17 kJ/g vs. –11.41 kJ/g). Py-GC/MS analysis of fossil wood showed a significant depletion of polysaccharide pyrolysis products and an increase in lignin pyrolysis products compared to recent wood. The pyrolytic H/L ratio indicates a preferential loss of polysaccharides in fossil wood. Polysaccharide pyrolysis products were rare and represented mainly by levoglucosan. Lignin also underwent substantial changes. A dramatic decrease in monomers, an increase in short side chain compounds and the presence of demethylated/demethoxylated compounds in the composition of lignin pyrolysis products are indicative of lignin alteration (degradation). Moreover, a high abundance of styrene, cresols, phenol and phenolic compounds was observed.

Keywords: thermogravimetry, differential scanning calorimetry, analytical pyrolysis, evaluation of chemical composition alterations of fossil wood, bald cypress (*Taxodium distichum* (L.) Rich.), Western Hungary.

How to cite: Shapchenkova O. A., Loskutov S. R., Plyashechnik M. A., Pásztor Z. Thermal analysis and pyrolysis–gas chromatography/mass spectrometry of fossil wood from the locality of Bükkábrány, Hungary // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 5. P. 56–69 (in English with Russian abstract).

DOI: 10.15372/SJFS20220505

INTRODUCTION

Fossil woods are always of great scientific interest because they can provide information about palaeoclimate, palaeoecology, phytogeography and evolution (Guleria, Awasthi, 1997). In the summer of 2007, a fossil forest was discovered in the open-cast lignite mine near the village of Bükkábrány (Hungary). Catastrophic flooding of Lake Pannon

and subsequent burial by deposition of sand from a prograding delta 7 million years ago preserved the Bükkábrány forest (Miocene epoch). The tree trunks were found standing in an upright position partly with bark and rather intact. The fossil forest at Bükkábrány is the only location in the world where large trees are preserved standing, in the original forest structure, as wood (Kázmér, 2008). The fossil trees have been identified as *Taxodio-*

xylon germanicum and *Glyptostroboxylon* (Erdei et al., 2009; Gryc, Sakala, 2010). The structure of the Bükkábrány forest was described by M. Kázmér (2011). Mummification is considered to be a potential mechanism of a remarkable preservation state of the fossil trees from Bükkábrány (Bardet, Pournou, 2015). A good preservation is a result of inhibition of wood-destroying microbes, decreased oxygen availability, and the absence of harsh chemical or physical conditions (Mustoe, 2018).

Although remaining well preserved, wood tissue has undergone decay, however the petrification process was not progressed, and that is why the tree kept its wood features. M. Bardet and A. Pournou (2015) and K. Nikoloui et al. (2016) examined the fossil wood samples from Bükkábrány using light and scanning electron microscopy and observed extended wood biodeterioration caused by bacteria (erosion and tunneling bacteria) and fungi.

The study of chemical composition of six samples taken from standing fossil trunks done by M. Hámor-Vidó et al. (2010) revealed lower contents of cellulose and total phenols than in intact recent trees. The authors suggested that redox potential and dissolved phenol content saturated water contributed to reduce microbial activity and preserve wood tissues. The loss of cellulose and degradation of lignin to some extent in fossil wood from Bükkábrány were detected by A. Bardet and A. Pournou (2015) by examining its chemistry with ^{13}C CPMAS NMR. They found that all signals assigned to cellulose have almost disappeared. Lignin degradation was more significant at the bottom than at the top or in the middle of the fossil trunk studied. FTIR spectra of the Bükkábrány samples also showed that peaks attributed to hemicellulose and cellulose at 1734 cm^{-1} , 1160 and 892 cm^{-1} disappeared and peaks related to aromatic vibrations in lignin at 1605 cm^{-1} , 1510 , 1420 and 1267 cm^{-1} displayed higher intensity (Nikoloui et al., 2016).

It is known that in waterlogged environments, anaerobic bacteria and soft rot fungi, which attack mainly cellulose and hemicelluloses and modify the lignin in the cell middle lamella but do not degrade it completely, can slowly degrade wood. The waterlogged wood is often characterized by a good preservation but it can still be extensively degraded, poor in polysaccharides and mainly composed of residual lignin (Łucejko et al., 2015). In order to understand more about the extent of degradation of fossil wood from Bükkábrány, we used thermal analysis and analytical pyrolysis. The successful use of thermogravimetry (TG), differential scanning calorimetry (DSC) and pyrolysis-gas chroma-

tography/mass spectrometry (Py-GC/MS) to study waterlogged archaeological, ancient and fossil woods has been demonstrated in a number of works (Tomassetti et al., 1987; Campanella et al., 1991; Obst et al., 1991; Colombini et al., 2007; Budrugeac, Emandi, 2010; Donato et al., 2010; Cavallaro et al., 2011; Tamburini et al., 2014, 2016; Łucejko et al., 2015; Traoré et al., 2017; Romagnoli et al., 2018). Thermal analysis provides information about the physical or chemical changes associated with substances, including wood and its components, as a function of temperature. Py-GC/MS is a precious tool to determine the chemical composition of all the wood constituents and to indicate the mechanisms of degradation reactions (Van Bergen et al., 2000; Tamburini et al., 2014; Ghalibaf et al., 2019). Therefore, the aim of this work was to evaluate the chemical alterations in main structural components (polysaccharides and lignin) of fossil wood from the Bükkábrány mine using TG, DSC, and Py-GC/MS.

MATERIAL AND METHODS

Wood material. The small pieces of a fossil trunk identified as *Taxodioxydon germanicum* were kindly provided by University of Sopron. The origin of the samples was the lignite mine of Bükkábrány (in the north-east part of Hungary). The trunks were discovered in a standing position, which proves the original location of the trees. The height of the fossil trunks was about three to five meters, and the upper parts of the trunks were missing. Presumably these parts were above the sediment and degraded in a short time. Water and the sediment shut off oxygen, preventing the degradation process preserving the wood for a long time. An average wood sample prepared from pieces of a fossil trunk was examined in this study. The wood sample of a closer relative recent bald cypress (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) growing in Sopron (West Hungary), was taken as a reference. It was possible because this tree species still exists mostly in swampy territories. The wood samples were sawed with a fine-tooth metal saw to obtain fine sawdust. The powdered samples were used for TG, DSC, and Py-GC/MS.

Methods. Microscopic examination of fossil wood samples was done with a scanning electron microscope (TM-1000, Hitachi) equipped with an energy-dispersive X-ray microanalysis unit (EDX). The transverse and longitudinal sections were cut by hand. Observations were carried out at magnifications of 250–3000x.

Carbon and nitrogen contents in fossil and recent wood samples were determined with an ele-

mental analyzer (Vario ISOTOPE Cube, Elementar Analysensysteme GmbH).

Thermogravimetry was conducted on a TG 209 F1 thermal analyzer (Netzsch, Germany) in an air atmosphere with the gas flow of 20 mL/min from 25 to 700 °C, at 10 °C/min heating rate, in a corundum crucible (Al₂O₃). The enthalpy change (ΔH) of thermo-oxidative degradation of wood was determined by DSC. Differential scanning calorimetry was done with a DSC 204 F1 thermal analyzer (Netzsch, Germany) in an air atmosphere in the following conditions: temperature range 25–590 °C, the gas flow 40 mL/min, the heating rate of 10 °C/min, an aluminum pan with pierced lid.

Py-GC/MS analysis was performed using a multi-shot pyrolyzer EGA/Py-3030D (Frontier Lab) attached to a GCMS-QP2020D (Shimadzu). Approximately 100 µg of sample were pyrolyzed at 600 °C. The gas chromatograph was equipped with a stainless steel Ultra Alloy-5 capillary column (30 m × 0.25 mm × 0.25 mm, liquid phase: 5 % diphenyl 95 % dimethylpolysiloxane). Oven temperature was held at 50 °C for 5 min and then increased to 240 °C at the rate 4 °C/min, and from 240 to 300 °C at the rate 10 °C/min, afterwards the final temperature of 300 °C was held for 5 min. The carrier gas was helium with a flow 1 mL/min. The split ratio was adjusted to 50. The mass spectrometer operated at ionization energy of 70 eV, an ion source temperature of 250 °C, in a scan range of m/z 40–550. The pyrolysis products were identified by comparison with the NIST mass spectral library and data published the literature (Pouwels et al., 1987; Stankiewicz et al., 1997; Łucejko et al., 2009; Traoré et al., 2016, 2017; Subagyono et al., 2021). The relative abundance of every compound was expressed as a percentage of the total peak area.

RESULTS AND DISCUSSION

Microscopic observations. The scanning electron microscopy (SEM) images of the fossil wood samples are shown in Fig. 1.

The anatomical features were well visible. Tracheids and ray parenchyma cells with deposits were seen (Fig. 1, *a, b*). Fungal hyphae and spores were found (Fig. 1, *c, d*). In a longitudinal section, erosion troughs (stripes) oriented along the cellulose microfibrils and extending from one bordered pit to the other were observed (Fig. 1, *e*). Observations of a transverse section showed that the secondary cell walls of the tracheids were heavily degraded or completely absent (Fig. 1, *f*). Some tracheids partial-

ly or completely detached from the middle lamella. Detachment of pit borders from tracheids was also observed (Fig. 1, *h*). SEM/EDX analysis of mineral particles on fossil wood revealed the presence of Si, Fe, Al, Ca, Mg, S.

SEM observations showed that although the fossil trunks were well preserved, there was severe deterioration of wood. The decay pattern observed is similar to that caused by erosion bacteria and has been described in a number of works (Kim et al., 1996; Björdal et al., 1999; Blanchette, 2000; Nilsson, Björdal, 2008; Björdal, 2012). Erosion bacteria degrade the secondary cell wall layers and deplete polysaccharides from the wood without affecting the middle lamella. In this type of attack bacteria produce troughs, which are parallel with cellulose microfibrils. However, we also observed the fungal hyphae and spores that indicate wood attacks by fungi.

According to the literature, the degradation of wood in waterlogged terrestrial and aquatic environments with a low oxygen concentration can be related to both bacterial (erosion and tunneling bacteria) and fungal attacks (soft rot fungi taxonomically related to Ascomycetes and Deuteromycetes) (Kim et al., 1996; Blanchette, 2000; Singh, 2012). The erosion bacterial decay of archeological wood is the major microbial decay form found under near-anaerobic conditions, in waterlogged environments. Erosion bacteria require only minimum oxygen concentration for their decay activities in contrast to soft rot and tunneling bacteria. Tunneling bacteria produce minute tunnels and are able to degrade all wood cell wall areas, including the highly lignified middle lamella. The wood attack by soft rot fungi result in the formation of longitudinal cavities within the secondary wall of wood cells or an erosion of the entire secondary wall. The chemical effects of soft rot attacks are preferential depletion of both hemicelluloses and cellulose; lignin is modified only to a certain extent. Striated appearance of the bacterial eroded wall distinguishes this attack from soft rot erosion (Blanchette, 2000; Björdal et al., 2000; Björdal, 2012; Singh, 2012). Our SEM results are consistent with previous findings by M. Bardet and A. Pournou (2015) and K. Nikolouli et al. (2016) who observed the patterns of decay attributed to fungi, erosion and tunneling bacteria in the fossil wood samples from the Bükkábrány area and concluded that the burial environment of the Miocene Bükkábrány fossil forest varied regarding concentration of oxygen through the time but anoxic conditions probably dominated.

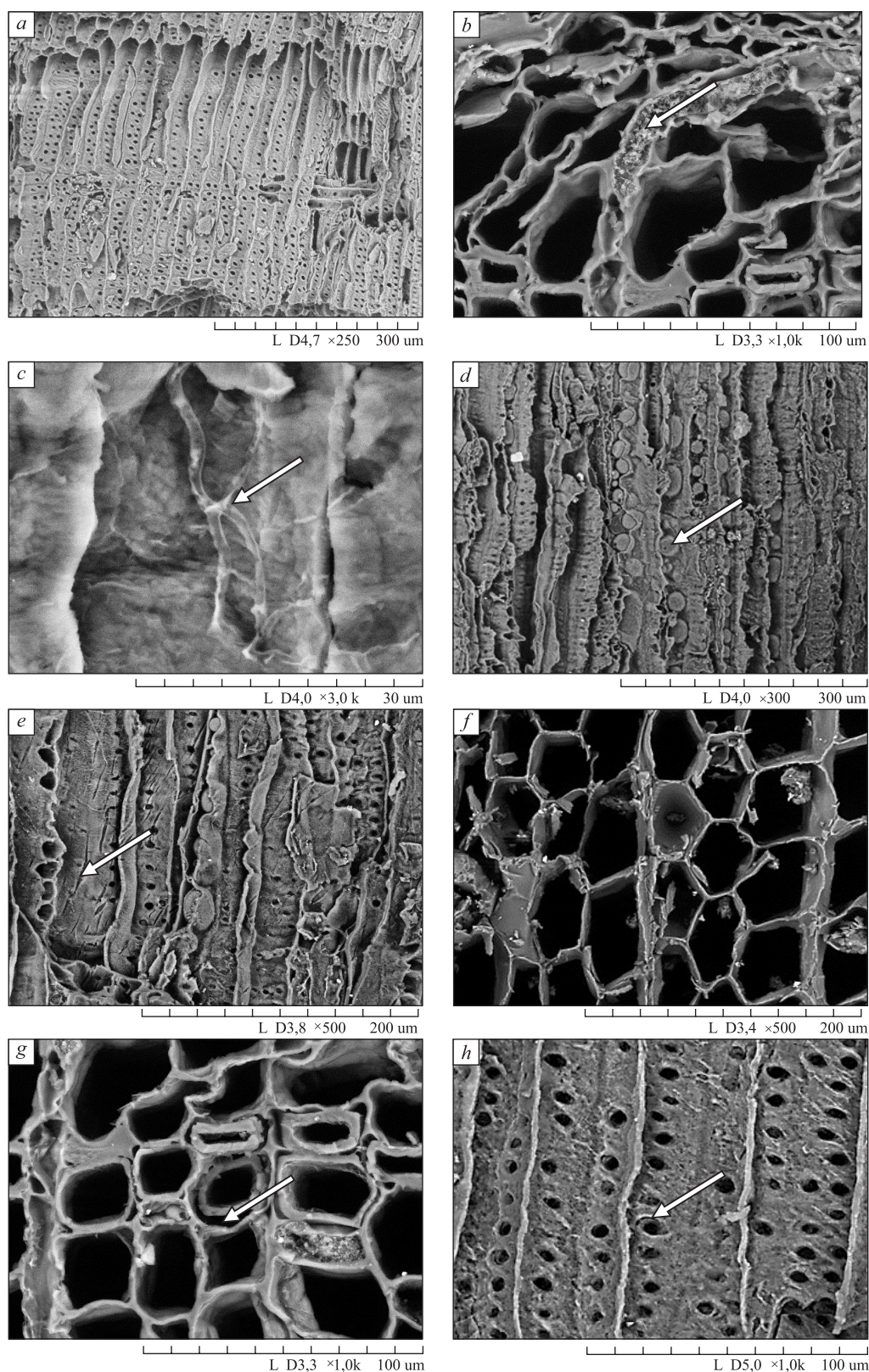


Fig. 1. SEM transverse and longitudinal sections of fossil wood showing tracheids (a) and ray parenchyma cells with deposits (b), fungal hyphae (c) and spores (d), erosion troughs (e), degraded secondary cell walls of the tracheids (f), detached tracheid (g) and pit border (h).

Thermal analysis. Figure 2 shows the thermograms obtained in an air atmosphere for fossil and recent woods.

It can be seen from the shapes of DTG curves that fossil wood demonstrated completely different thermal behavior compared to recent wood. The DTG curve of recent wood showed three peaks corresponding three successive stages of mass loss in the TG curve.

The first stage was due to the release of adsorbed water and the next two stages were mainly attributed to the thermal degradation of polysaccharides and lignin (Campanella et al., 1991; Budrugaec, Emandi, 2010; Romagnoli et al., 2018). Recent wood revealed 7.69 % of mass loss (peak at 63 °C) due to water evaporation. The slight shoulder in the DTG curve at ca 287 °C and a peak at 328 °C were related to the thermal decomposition of hemicelluloses and cellulose, respectively. There was a total mass loss of 60.24 % at this stage.

The peak at 443 °C was associated with mass loss of 30.32 % due to the thermo-oxidation of

lignin. The process of the thermal degradation of recent wood finished by 502 °C. The mass loss above 502 °C was negligible. The residual mass at 700 °C (ash %) was 1.03 %. The enthalpy change (ΔH) of thermo-oxidation of recent wood was -11.41 ± 0.41 kJ/g.

DTG curve of fossil wood revealed a high heterogeneity in chemical composition and considerable overlapping the thermal decomposition stages due to the presence of degradation products (Fig. 2, *b*). To better visualize the stages of fossil wood degradation and establish the temperature intervals of mass loss, we resorted to the method of differentiating the contour of the mass loss rate $\partial^4(\text{DTG})/\partial t^4 = f(t)$ (t – temperature). Then after equating the positive values of the derivative to zero, we approximated the obtained dependence by the Chebyshev polynomial of the 20th order (Fig. 2, *b*, curve 3).

In the temperature range 25–178 °C, two peaks in the DTG curve of fossil wood were attributed to losses of different fractions of water. The broad peak at 75 °C and corresponding mass losses

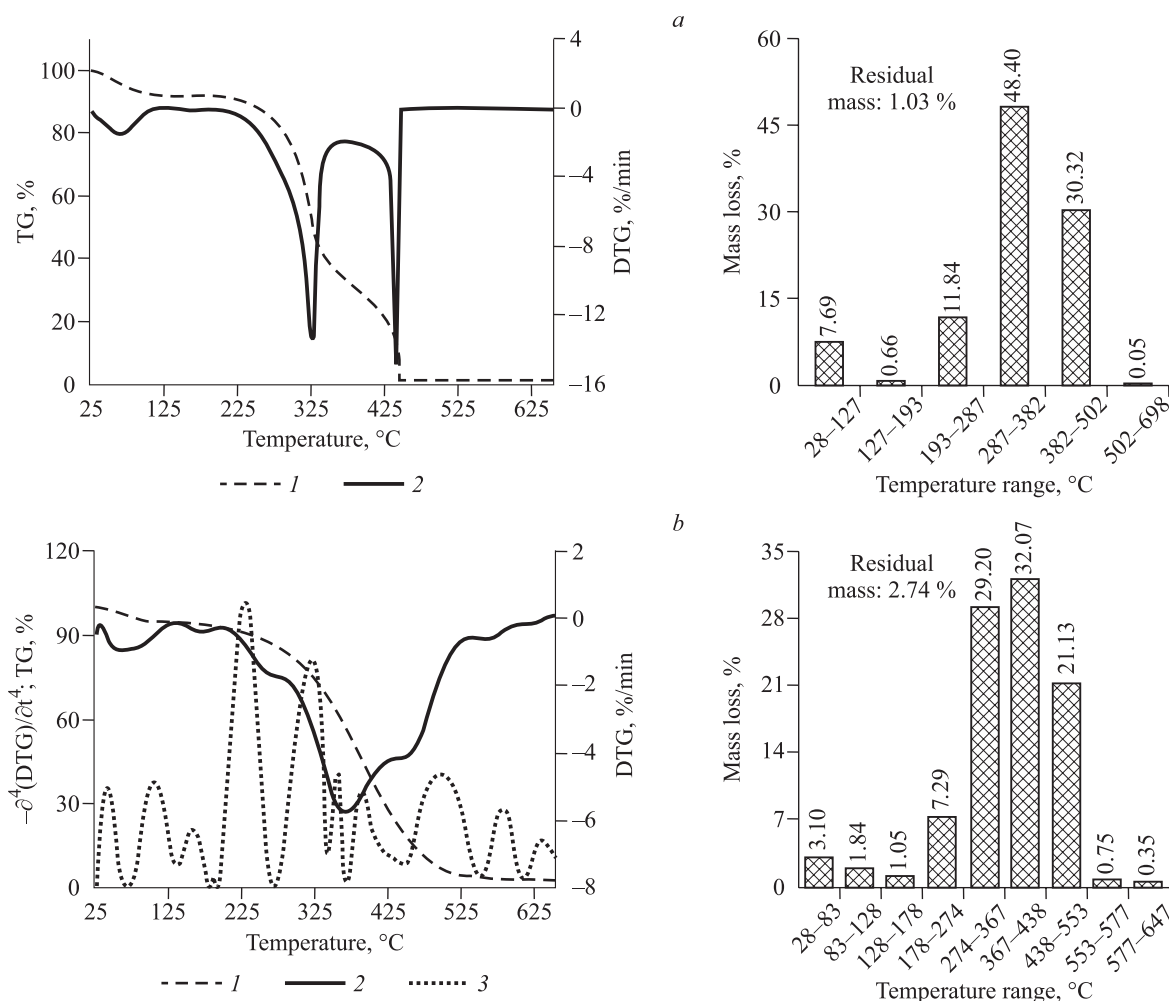


Fig. 2. Thermograms and mass losses of recent (*a*) and fossil (*b*) wood.

1 – TG curve; 2 – DTG curve; 3 – $\partial^4(\text{DTG})/\partial t^4$ curve.

of 3.10 and 1.84 % were related to the release of adsorbed water from wood. The peak at 160 °C (mass loss of 1.05 %) was not observed for recent wood and likely might be due to loss of water from hydrated salts (Genestar, Pons, 2008) contained in the fossil wood sample.

The thermal degradation of the wood substance occurred above 178 °C. The DTG curve did not reveal two distinct peaks corresponding to degradation of polysaccharides and lignin like in the case of recent wood. Only one broad peak at 369 °C with two shoulders at ca 250 and 450 °C and slight mass losses above 553 °C were observed in the TG/DTG curves. The $\partial^4(\text{DTG})/\partial t^4$ curve allowed us to distinguish six individual stages of mass loss within the interval 178–700 °C. In comparison with recent wood, the mass loss in the temperature range of 178–367 °C decreased by 40 % and mainly occurred due to the remaining cellulose. In waterlogged conditions, hemicelluloses are the first constituents lost because of their highest susceptibility to biological degradation (Romagnoli et al., 2018). Our thermogravimetry data is in agreement with the chemical investigations of M. Hámor-Vidó et al. (2010) who reported cellulose content of 18–41 % in the fossil wood samples from Bükkábrány.

At temperature range 367–700 °C, the mass loss attributed to thermo-oxidation of lignin was 79 % higher in relation to recent wood. It should be noted that the process of the thermal degradation of fossil wood continued above 500 °C. Four stages of mass loss in the $\partial^4(\text{DTG})/\partial t^4$ curve (32.07, 21.13, 0.75 and 0.35 %) point out that lignin underwent alterations which resulted in the presence of aromatic compounds with different oxidative thermal stability. These results are consistent with the previous observations of a selective removal of polysaccharides in fossil wood and its enrichment by lignin (Fengel, 1971; Obst et al., 1991; Uçar et al., 2005; Krutul et al., 2010; Ozgenc et al., 2018). Finally, at 700 °C, fossil wood had ash content of 2.74 %. The percentage of ash in fossil wood was only slightly higher than that in recent wood. A relatively low ash content indicates that fossil wood was not permineralized (Obst et al., 1991).

The enthalpy change of combustion (thermo-oxidation) was significantly greater ($-18.08 \pm \pm 0.82$ kJ/g) for fossil wood compared to recent wood. This indicates that more heat was released likely due to the higher content of lignin (aromatic compounds) in the sample. According to the literature (Kubler, 1982; Rowell, Dietenberger, 2013; Ioelovich, 2018), lignin has the highest heat of combustion compared to cellulose and

wood. O. V. Voitkevich et al. (2012) reported that the enthalpy values of combustion for hardwood and softwood lignins were found to be -21.45 and -23.50 kJ/g, respectively.

Elemental analysis. The elemental analysis revealed that recent wood contained 49.16 ± 0.28 % of total carbon (TC) and 0.19 ± 0.04 % of total nitrogen (TN), fossil wood 58.05 ± 2.33 % and 0.44 ± 0.07 %, respectively. In comparison with recent wood, fossil wood had significantly higher content of TC and a twofold increase in TN due to nitrogen immobilization (Romero et al., 2005). C/N ratio, considered as an indicator of the degree of organic matter alteration (Silva et al., 2013), was in two times lower for fossil wood compared to recent wood (132 vs. 259). This is in agreement with the literature regarding the anaerobic conditions cause a decrease of this ratio in the buried plant material and fossil wood (Gröcke, 2002; Silva et al., 2013).

Py-GC/MS. The pyrograms showed 89 peaks for recent wood and 149 peaks for fossil wood (Fig. 3).

The peak area of identified compounds accounted for 92 and 87 % of the total peak area, respectively. The identified compounds, their relative amounts and origin are listed in Table. The pyrograms of both wood samples revealed the presence of pyrolysis products of polysaccharides and lignin. Pyrolysis products were attributed to polysaccharides and lignin based on literature data (Pouwels et al., 1987; Stankiewicz et al., 1997; Łucejko et al., 2012, 2021a; Ház et al., 2013; Karami et al., 2013; Liaw et al., 2014; Tamburini et al., 2014, 2015; Traoré et al., 2017; González Martínez et al., 2019; SriBala et al., 2019; Subagyo et al., 2021). There were the substantial differences in the presence and the relative abundance of the individual pyrolysis products between the samples. Py-GC/MS analysis also showed that wood samples are of gymnosperm origin as indicated by the presence only guaiacyl derivatives (Saiz-Jimenez, De Leeuw, 1986; Stankiewicz et al., 1997; Van Bergen et al., 2000).

The pyrogram of recent wood revealed that pyrolysis products derived from polysaccharides and lignin represented 33 and 45 % of the total peak area, respectively. The main polysaccharide pyrolysis products were methyl glyoxal, levoglucosan, acetaldehyde, 3-methylhexanal, acetic acid, acetol, 2-oxopropanoic acid methyl ester, acetoxyacetic acid, 2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one. The other important compounds were furfural, 1,4:3,6-dianhydro- α -D-glucopyranose, 2-hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one, 2(5H)-furanone.

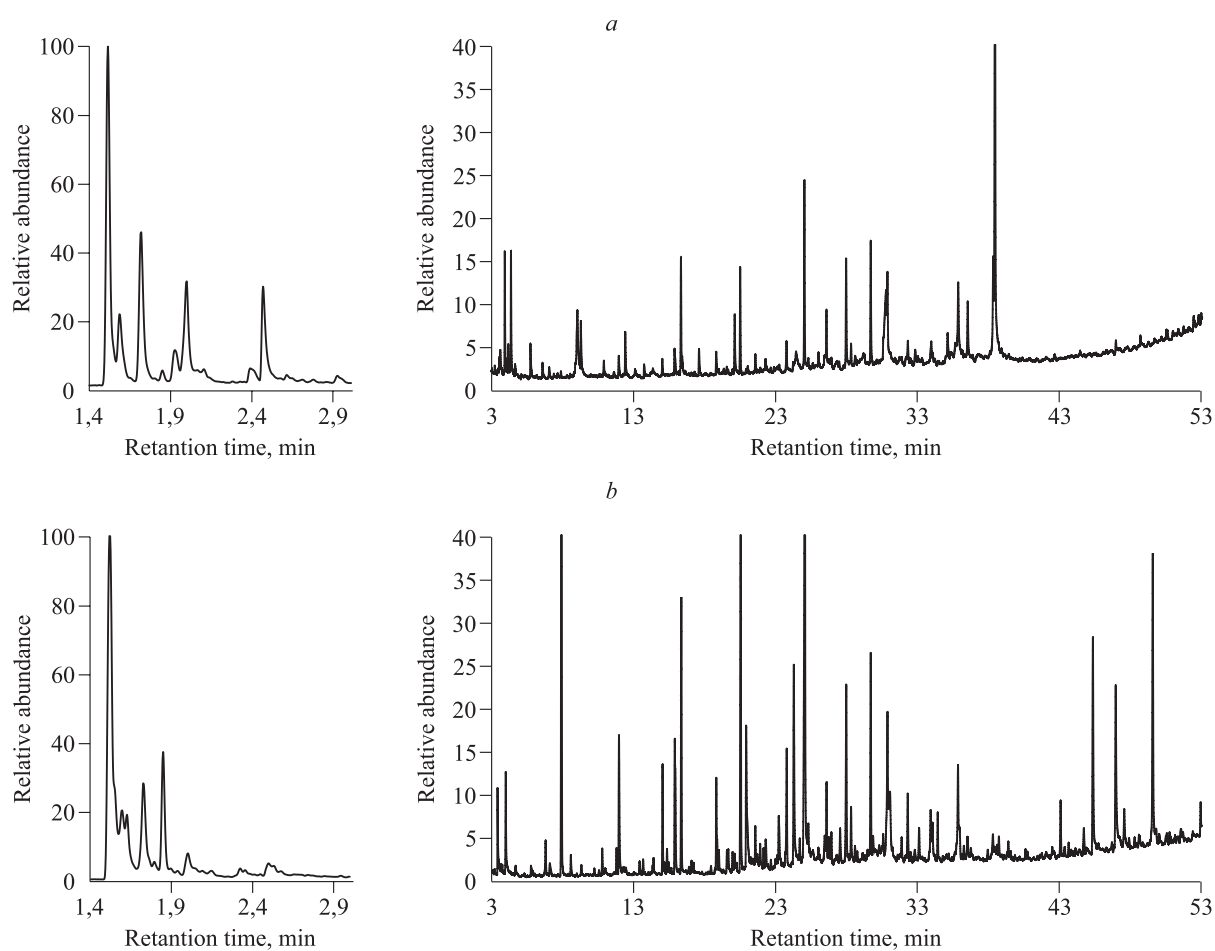


Fig. 3. Total ion current chromatograms of recent (a) and fossil (b) wood.

Pyrolysis products of lignin were mainly represented by trans-coniferyl alcohol, cis-coniferyl alcohol, guaiacol, 4-vinylguaiacol, trans-isoeugenol, dihydroconiferyl alcohol, coniferylaldehyde, vanillin, 4-methylguaiacol, acetovanillone, and eugenol. Coniferyl alcohol (trans- and cis-isomers) accounted for 35 % of the total lignin pyrolysis products in recent wood which agrees with the literature data for sound wood (Łucejko et al., 2021b). Trans-coniferyl alcohol was the dominant monomer since the lignin in conifers is based mainly on trans-coniferyl alcohol (Obst, 1983). Other lignin-compounds such as phenols, cresols, 4-ethylguaiacol were in minor abundance. The presence of trans-coniferyl alcohol in combination with relatively small amounts of phenol, 2-methylphenol, 3- and 4-methylphenol, 2,4-dimethylphenol, 3-ethylphenol, 4-ethylphenol is characteristic of nondegraded lignin (Stankiewicz et al., 1997).

Py-GC/MS of fossil wood showed a significant decrease in polysaccharide-derived compounds with regard to recent wood. The peaks deriving from polysaccharides accounted for only 3 % of the total peak area. The most of characteristic peaks of

polysaccharide pyrolysis products were absent or negligible. Pyrolysis products of polysaccharides were mainly represented by levoglucosan with a combination of smaller amounts of acetaldehyde, acetic acid, and furfural. This provides evidence of a substantial degradation of hemicelluloses and cellulose in fossil wood.

A great increase in lignin pyrolysis products up to 69 % was observed. The main lignin pyrolysis products were guaiacol and guaiacyl derivatives (4-vinylguaiacol, 4-methylguaiacol, 4-ethylguaiacol, vanillin, acetovanillone), 4-methylcatechol, and catechol. It is important to note that styrene was highly abundant in fossil wood compared to recent wood. Other significant lignin-derived peaks in the pyrogram were related to the presence of phenol and phenolic compounds. A relative abundance of cresols was markedly higher than in recent wood.

We calculated the pyrolytic H/L ratio, which is a commonly used parameter to estimate the preferential loss of polysaccharides or lignin in a degraded wood sample by comparing its value with that obtained for sound wood (Tamburini et al., 2015; Zoia et al., 2017; Łucejko et al., 2021a). The recent

List of the identified pyrolysis products

No.	Name	Retention time (min)		Origin	Relative area (%)	
		recent wood	fossil wood		recent wood	fossil wood
1	2	3	4	5	6	7
1	Carbon dioxide	1.514	1.517		9.66	6.57
2	Acetaldehyde	1.587	1.593	Ps	2.70	0.97
3	Methanethiol	–	1.624		–	0.75
4	Methyl glyoxal	1.718	–	Ps	4.76	–
5	Oxirane, methyl-, (S)-	–	1.727		–	1.38
6	Dimethyl sulfide	–	1.794		–	0.09
7	1-Penten-3-yne	1.850	1.849		0.24	1.32
8	1,3-Diamino-2 propanol	1.927	–		1.18	–
9	Acetic acid	1.998	2.003	Ps	3.66	0.40
10	2,3-Butanediol	2.105	–	Ps	0.21	–
11	1,3-Cyclohexadiene	–	2.329	L	–	0.14
12	1,3-Cyclopentadiene, 1-methyl-	–	2.359	L	–	0.10
13	2-Butenal	2.391	–	Ps	0.61	–
14	Acetol	2.470	–	Ps	2.73	–
15	Benzene	–	2.505	Ps, L	–	0.23
16	2,3-Pentanedione	2.779	–	Ps	0.08	–
17	1,4-Dioxin, 2,3-dihydro-	2.927	–		0.30	–
18	Propylene Glycol	–	3.373		–	0.75
19	(S)-5-Hydroxymethyl-2[5H]-furanone	3.546	–	Ps	0.21	–
20	1,4-Pentadien-3-one	3.618	–		0.44	–
21	Acetic acid, (acetyoxy)-	3.931	–	Ps	1.95	–
22	Toluene	–	3.954	Ps, L	–	0.99
23	2(5H)-Furanone	4.079	–	Ps	0.21	–
24	Succindialdehyde	4.181	–	Ps	0.46	–
25	Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	4.370	–	Ps	1.97	–
26	Furfural	5.741	5.737	Ps	0.82	0.13
27	Ethylbenzene	–	6.770	L	–	0.43
28	m-Xylene	–	7.071	L	–	0.26
29	4-Cyclopentene-1,3-dione	7.660	–	Ps	0.07	–
30	Styrene	7.892	7.895	L	0.11	8.29
31	Ethanol, 2-butoxy-	–	8.554		–	0.20
32	Hexanal, 3-methyl-	9.054	–	Ps	3.89	–
33	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	9.296	–	Ps	1.54	–
34	Benzaldehyde	–	10.774	L	–	0.26
35	Butanedioic acid, cyclic hydrazide	10.921	–		0.27	–
36	alpha-Methylstyrene	–	11.783	L	–	0.25
37	Phenol	11.972	11.958	L	0.54	1.86
38	Oxazolidine, 2,2-diethyl-3-methyl-	12.433	–	Ps	0.94	–
39	Benzene, 1-methoxy-3-methyl-	–	13.415	L	–	0.14
40	Benzene, 1-propenyl-	–	13.663	L	–	0.18
41	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	13.760	–	Ps	0.37	–
42	Benzaldehyde, 2-hydroxy-	–	14.336	L	–	0.08
43	o-Cresol	15.047	15.035	L	0.39	1.13
44	Benzenemethanol, alpha-methyl-	–	15.176		–	0.09
45	Acetophenone	–	15.352	L	–	0.23
46	p-Cresol	15.906	15.900	L	0.87	1.37
47	m-Cresol	–	15.930	L	–	0.92
48	Guaiacol	16.360	16.364	L	2.29	2.95
49	Pentanal	16.446	–	Ps	0.43	–

Table continuation

1	2	3	4	5	6	7
50	Phenol, 2,6-dimethyl-	—	17.082	L	—	0.18
51	2,5-Dimethylanisole	—	17.221	L	—	0.11
52	2,4(3H,5H)-Furandione, 3-methyl-	17.635	—	Ps	0.68	—
53	Phenol, 2-ethyl-	—	18.461	L	—	0.07
54	Phenol, 2,4-dimethyl-	18.849	18.837	L	0.59	0.47
55	Phenol, 2,5-dimethyl-	—	18.893	L	—	0.26
56	Benzaldehyde, 2-hydroxy-5-methyl-	19.019	19.017	L	0.13	0.20
57	Phenol, 4-ethyl-	19.594	19.588	L	0.13	0.19
58	Phenol, 3,4-dimethyl-	19.690	19.683	L	0.07	0.18
59	Phenol, 2-methoxy-3-methyl-	19.987	19.985	L	0.12	0.22
60	4-Methylguaiaicol	20.541	20.557	L	2.18	5.19
61	Catechol	—	20.946	L	—	2.55
62	1,4:3,6-Dianhydro- α -D-glucopyranose	21.072	—	Ps	0.20	—
63	Benzofuran, 2,3-dihydro-	21.609	21.593	Ps, L	0.43	0.38
64	Sulfurous acid, cyclohexylmethyl nonyl ester	—	22.171	—	—	0.18
65	Phenol, 3-ethyl-5-methyl-	22.323	22.324	L	0.31	0.40
66	Phenol, 2,3,5,6-tetramethyl-	22.697	22.692	L	0.09	0.10
67	Benzoic acid, 2-propenyl ester	—	23.018	—	—	0.08
68	3-Methylcatechol	—	23.247	L	—	0.69
69	4,7-Methano-1H-indenol, hexahydro-	—	23.711	—	—	0.12
70	4-Ethylguaiaicol	23.809	23.810	L	0.67	1.40
71	2-Allylphenol	24.276	—	L	0.23	—
72	4-Methylcatechol	—	24.312	L	—	2.87
73	Benzofuran, 2,3-dihydro-2-methyl-	—	24.732	L	—	0.20
74	4-Vinylguaiaicol	25.069	25.091	L	3.75	9.62
75	3-Methoxy-5-methylphenol	25.344	25.339	L	0.17	0.25
76	Phenol, 4-(2-propenyl)-	26.060	26.049	L	0.28	0.09
77	Eugenol	26.625	26.625	L	1.12	0.71
78	Phenol, 2-methoxy-4-propyl-	26.967	26.968	L	0.16	0.33
79	4-Ethylcatechol	—	27.585	L	—	0.48
80	Vanillin	28.013	28.021	L	2.47	2.43
81	trans-Isoeugenol	28.360	28.360	L	0.35	0.52
82	Phenol, 2-methyl-6-(2-propenyl)-	28.651	28.636	L	0.33	0.23
83	trans-Isoeugenol	29.745	29.747	L	2.85	2.25
84	Dimethyl phthalate	—	29.915	—	—	0.22
85	Levogluconan	30.822	31.109	Ps	4.56	1.95
86	Acetovanillone	30.926	30.933	L	2.24	2.74
87	Vanillic acid methyl ester	—	31.933	L	—	0.21
88	2-Propanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	32.365	32.364	L	0.58	0.87
89	1-Propanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	—	33.982	L	—	0.94
90	Butyrovannillone	—	34.118	L	—	0.50
91	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	—	34.482	—	—	0.49
92	Dihydroconiferyl alcohol	35.918	35.917	L	2.79	1.34
93	7-Methoxy-1-naphthol	—	36.328	—	—	0.13
94	cis-Coniferyl alcohol	36.587	36.587	L	1.54	0.41
95	Coniferylaldehyde	38.384	38.385	L	2.63	0.27
96	trans-Coniferyl alcohol	38.511	38.499	L	14.14	0.07
97	Diallyl phthalate	—	38.807	—	—	0.21
98	Benzene, 1'1-(1,3-butadienyldiene)bis-	—	40.691	—	—	0.13
99	Phenol, 2,2'-methylenebis-	—	44.810	L	—	0.44

End of table

1	2	3	4	5	6	7
100	Phenol, 2-[(4-hydroxyphenyl)methyl]-	–	45.449	L	–	2.93
101	Phenol, 4,4'-methylenebis-	–	47.061	L	–	2.72
102	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-	–	49.680	L	–	4.03
103	Ferruginol	53.192	53.185		0.79	0.19
104	Cyclohexane, 1,3,5-triphenyl-	–	55.251		–	0.49
105	(E)-3'3'-Dimethoxy-4,4'-dihydroxystilbene	57.952	57.947	L	1.23	0.31
106	3,4-Divanillyltetrahydrofuran	–	60.973		–	0.32
Sum of identified compounds					91.71	87.32
Sum of polysaccharide pyrolysis compounds					33.05	3.45
Sum of lignin pyrolysis compounds					45.35	68.56
Holocellulose/lignin (H/L)					0.7	0.1

Note. The relative area was expressed as a percentage of the total area of the peaks detected in the pyrogram. The holocellulose/lignin (H/L) is defined as the ratio between the relative abundances of holocellulose (cellulose and hemicelluloses) and lignin pyrolysis products (Łucejko et al., 2021a).

and fossil woods had H/L ratios 0.7 and 0.1, respectively (Table). This highlights a preferential loss of polysaccharides in fossil wood from Bükkábrány.

In order to provide more information on chemical alterations in lignin we summarized the peak areas of the pyrolysis products assigned to following categories: monomers (coniferyl alcohol), long chain compounds (guaiacyl units with modified C3 alkyl chains), short chain compounds (guaiacyl units with up to C2 alkyl chains), carbonyl compounds (compounds containing aldehyde and ketone functionalities), carboxyl compounds (acids and esters), demethylated/demethoxylated compounds (guaiacyl units in which the methoxy groups on the aromatic rings had undergone alteration), and others (Tamburini et al., 2015, 2016; Braovac et al., 2016; Łucejko et al., 2020, 2021b).

In recent wood, monomers accounted for 35 %, long chain compounds 10 %, short chain compounds 20 %, carbonyl compounds 16 %, others 20 %, carboxyl and demethylated/demethoxylated compounds were not detected. The distribution of lignin pyrolysis products in fossil wood was different. Monomers constituted for only ca 1 %; long chain compounds 5 %, short chain compounds 28 %, carbonyl compounds 8 %, carboxyl compounds 0.3 %, demethylated/demethoxylated compounds 10 %, others 49 %.

Although lignin is generally less susceptible to degradation processes in the burial environment, especially in waterlogged conditions, compared to cellulose and hemicelluloses it also undergoes chemical changes, which can involve demethylation, oxidation, and depolymerisation (Saiz-Jimenez, De Leeuw, 1986; Tamburini et al., 2016;

Łucejko et al., 2021b). The results of Py-GC-MS of fossil wood showed that not only the relative amount of lignin-derived pyrolysis products substantially increased but also their chemical composition changed. Coniferyl alcohol is characteristic of an unaltered gymnosperm lignin and its strong decrease indicates the structural changes in lignin due to degradation (Saiz-Jimenez, De Leeuw, 1986; Łucejko et al., 2021b). The higher relative abundance of shortened side chain pyrolysis products compared to lignin monomers is connected to the depolymerisation of lignin (Tamburini et al., 2016; Łucejko et al., 2021b). The formation of catechol-type compounds (catechol, 3-methylcatechol, 4-methylcatechol, 4-ethylcatechol) also reflects the lignin degradation. Catechol is the main degradation product of gymnospermous lignin arising via demethylation of the methoxyl group (Van Bergen et al., 2000). Demethylation occurs in degradation pathways initiated by fungi or bacteria and results in lignin units with hydroxyl groups, which are more reactive and thus susceptible to further reactions (Łucejko et al., 2021a). The relative abundance of catechol-like and phenol-like structures was observed in plant materials (degraded wood, coalified logs) at different stages of the coalification process (Hatcher et al., 1988, 1989). A significant decrease in the relative amount of carbonyl compounds in fossil wood points to alteration of lignin. This also reflects the absence of the oxidizing conditions because the oxidation of lignin results in an increase in carbonyl and carboxyl functionalities (Łucejko et al., 2021b). Moreover, a low relative amount of oxidized phenols such as vanillic acid methyl ester in fossil wood as well

indicates an anoxic burial history (Saiz-Jimenez et al., 1987).

The fossil wood showed higher abundance of cresols, phenol and monocyclic aromatic hydrocarbons (benzene, toluene, m-xylene, styrene) compared to recent wood. Phenolic compounds such as phenol, 2,2'-methylenebis-; phenol, 2-[(4-hydroxyphenyl)methyl]-; phenol, 4,4'-methylenebis-; phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis- and polycyclic aromatic hydrocarbons (7-methoxy-1-naphthol) were not encountered in recent wood. D. Shen et al. (2015) reported that the presence of phenol-type and cresol-type compounds is related to the demethoxylation of guaiacol-type compounds. It should also be noted that a high relative abundance of styrene in the pyrolysates of fossil wood indicates lignin degradation (Nierop et al., 2001).

The peak of methanethiol in the pyrogram of fossil wood reflects the presence of sulphur-containing compounds. This is in agreement with observations of J. Guo et al. (2019) who reported that methanethiol can be a result of the enrichment of organic sulfur produced by sulfate reducing bacteria.

CONCLUSION

In this study, the methods of thermal analysis and analytical pyrolysis were used in order to provide more information about degradation of the unique fossil wood from the Bükkábrány area. Thermal analysis of fossil wood showed a high heterogeneity of wood substance, a significant degradation of polysaccharides and enrichment by lignin including more thermally stable components ($> 500\text{ }^{\circ}\text{C}$), a larger enthalpy change (ΔH) of combustion compared to recent wood. Py-GC/MS results were in agreement with thermal analysis indicating a preferential loss of polysaccharides. Polysaccharide pyrolysis products were mainly represented by levoglucosan. Other polysaccharide-derived compounds were not detected or were present in minor quantities. Among lignin pyrolysis products, a significantly low abundance of lignin monomers, an increase in short side-chain compounds and presence of demethylated/demethoxylated units in fossil wood provided evidence of lignin alteration (degradation). Thus, obtained results showed that fossil wood, which had been exposed to the burial environment for 7 million years, had significant changes in the chemical composition.

The work was carried out as part of project No. TKP2021-NKTA-43 and in the frame of cooperation agreement on academic and research be-

tween V. N. Sukachev Institute of Forest Russian Academy of Sciences, Siberian Branch – separate subdivision of Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center Russian Academy of Sciences, Siberian Branch» and University of Sopron. This project has been implemented with the support provided by the Ministry of Innovation and Technology of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the TKP2021-NKTA funding scheme.

The authors thank their colleagues from the International laboratory «Ecophysiology of biogeocenosis of the cryolithic zone», V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, for undertaking the elemental analysis.

REFERENCES

- Bardet M., Pournou A. Fossil wood from the Miocene and Oligocene epoch: chemistry and morphology // *Magn. Reson. Chem.* 2015. V. 53. Iss. 1. P. 9–14.
- Björdal C. G. Microbial degradation of waterlogged archaeological wood // *J. Cult. Herit.* 2012. V. 13. Iss. 3. Suppl. P. 118–122.
- Björdal C. G., Daniel G., Nilsson T. Depth of burial, an important factor in controlling bacterial decay of waterlogged archaeological poles // *Int. Biodeterior. Biodegr.* 2000. V. 45. Iss. 1–2. P. 15–26.
- Björdal C. G., Nilsson T., Daniel G. Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden. Applicable to archaeology and conservation // *Int. Biodeterior. Biodegr.* 1999. V. 43. Iss. 1–2. P. 63–73.
- Blanchette R. A. A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments // *Int. Biodeterior. Biodegr.* 2000. V. 46. Iss. 3. P. 189–204.
- Braovac S., Tamburini D., Lucejko J. J., McQueen C., Kutzke H., Colombini M. P. Chemical analyses of extremely degraded wood using analytical pyrolysis and inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy // *Microchem. J.* 2016. V. 124. P. 368–379.
- Budrugeac P., Emandi A. The use of thermal analysis methods for conservation state determination of historical and/or cultural objects manufactured from lime tree wood // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2010. V. 101. Iss. 3. P. 881–886.
- Campanella L., Tomassetti M., Tomellini R. Thermoanalysis of ancient, fresh and waterlogged woods // *J. Therm. Anal.* 1991. V. 37. Iss. 8. P. 1923–1932.
- Cavallaro G., Donato D. I., Lazzara G., Milioto S. A comparative thermogravimetric study of waterlogged archaeological and sound woods // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2011. V. 104. Iss. 2. P. 451–457.
- Colombini M. P., Orlandi M., Modugno F., Tolppa E.-L., Sardelli M., Zoia L., Crestini C. Archaeological wood characterization by PY/GC/MS, GC/MS, NMR and GPC techniques // *Microchem. J.* 2007. V. 85. Iss. 1. P. 164–173.
- Donato D. I., Lazzara G., Milioto S. Thermogravimetric analysis: a tool to evaluate the ability of mixtures in consolidating waterlogged archaeological woods // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2010. V. 101. Iss. 3. P. 1085–1091.

- Erdei B., Dolezych M., Hably L. The buried Miocene forest at Bükkábrány, Hungary // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2009. V. 155. Iss. 1–2. P. 69–79.
- Fengel D. Chemische und elektronmikroskopische Untersuchung eines fossilen Fichtenholzes // *Holz Roh Werkst.* 1971. V. 29. Iss. 8. P. 305–314.
- Genestar C., Pons C. Analytical characterization of biodegraded wood from a 15th century Spanish cloister // *Microchim Acta.* 2008. V. 162. Iss. 3. P. 333–339.
- Ghalibaf M., Lehto J., Alén R. Fast pyrolysis of hot-water-extracted and delignified Norway spruce (*Picea abies*) sawdust by Py-GC/MS // *Wood Sci. Technol.* 2019. V. 53. Iss. 1. P. 87–100.
- González Martínez M., Ohra-aho T., da Silva Perez D., Tamminen T., Dupont C. Influence of step duration in fractionated Py-GC/MS of lignocellulosic biomass // *J. Anal. Appl. Pyrol.* 2019. V. 137. P. 195–202.
- Gröcke D. R. The carbon isotope composition of ancient CO₂ based on higher-plant organic matter // *Philos. Trans. Ser. A. Math. Phys. Eng. Sci.* 2002. V. 360. Iss. 1793. P. 633–658.
- Gryc V., Sakala J. Identification of fossil trunks from Bükkábrány newly installed in the visitor centre of the Ipolytarnóc Fossils Nature Reserve (Novhrad-Nógrád Geopark) in northern Hungary // *Acta Univ. Agr. Silv. Mendel. Brun.* 2010. V. 58. Iss. 5. P. 117–122.
- Guleria J. S., Awasthi N. Fossil wood and their significance // *Curr. Sci.* 1997. V. 72. N. 4. P. 248–254.
- Guo J., Xiao L., Han L., Wu H., Yang T., Wu S., Yin Y. Deterioration of the cell wall in waterlogged wooden archaeological artifacts, 2400 years old // *IAWA J.* 2019. V. 40. Iss. 4. P. 820–844.
- Hámor-Vidó M., Hofmann T., Albert L. In situ preservation and paleoenvironmental assessment of Taxodiaceae fossil trees in the Bükkalja Lignite Formation, Bükkábrány open cast mine, Hungary // *Int. J. Coal Geol.* 2010. V. 81. Iss. 4. P. 203–210.
- Hatcher P. G., Lerch H. E., Kotra R. K., Verheyen T. V. Pyrolysis g.c.-m.s. of a series of degraded woods and coalified logs that increase in rank from peat to subbituminous coal // *Fuel.* 1988. V. 67. Iss. 8. P. 1069–1075.
- Hatcher P. G., Lerch H. E., Verheyen T. V. Organic geochemical studies of the transformation of gymnospermous xylem during peatification and coalification to subbituminous coal // *Int. J. Coal Geol.* 1989. V. 13. Iss. 1–4. P. 65–97.
- Ház A., Jablonský M., Orságová A., Šurina I. Characterization of lignins by Py-GC/MS // *Renewable energy sources: Proc. 4th Int. Conf. High Tatras. Slovak Rep., 2013.*
- Ioelovich M. Thermodynamics of biomass-based solid fuels // *Acad. J. Polym. Sci.* 2018. V. 2. Iss. 1. P. 555–557.
- Karami L., Schmidt O., Fromm J., Klinberg A., Schmitt U. Wood decay characterization of a naturally infected oak wood bridge using PY-GC/MS // *Wood Res.* 2013. V. 58. N. 4. P. 591–598.
- Kázmér M. The Miocene Bükkábrány fossil forest in Hungary – field observations and project outline // *Hantkeniana.* 2008. V. 6. Iss. 6. P. 229–244.
- Kázmér M. Structure of the 7 Ma Bükkábrány fossil forest in Hungary // *Jap. J. Histor. Bot.* 2011. V. 19. Iss. 1–2. P. 47–54.
- Kim Y. S., Singh A. P., Nilsson T. Bacteria as important degraders in waterlogged archaeological woods // *Holzforchung.* 1996. V. 50. N. 5. P. 389–392.
- Krutul D., Radomski A., Zawadzki J., Zielenkiewicz T., Antczak A. Comparison of the chemical composition of the fossil and recent oak wood // *Wood Res.* 2010. V. 55. N. 3. P. 113–120.
- Kubler H. Heat release in thermally disintegrating wood // *Wood and Fiber.* 1982. V. 14. N. 3. P. 166–177.
- Liaw S. S., Perez V. H., Zhou S., Rodriguez-Justo O., Garcia-Perez M. Py-GC/MS studies and principal component analysis to evaluate the impact of feedstock and temperature on the distribution of products during fast pyrolysis // *J. Anal. Appl. Pyrol.* 2014. V. 109. P. 140–151.
- Łucejko J. J., McQueen C. M., Sahlstedt M., Modugno F., Colombini M. P., Braovac S. Comparative chemical investigations of alum treated archaeological wood from various museum collections // *Herit. Sci.* 2021a. V. 9. Iss. 1. Article number: 69. 17 p.
- Łucejko J. J., Modugno F., Ribechini E., del Río J. C. Characterisation of archaeological waterlogged wood by pyrolytic and mass spectrometric techniques // *Anal. Chim. Acta.* 2009. V. 654. Iss. 1. P. 26–34.
- Łucejko J. J., Modugno F., Ribechini E., Tamburini D., Colombini M. P. Analytical instrumental techniques to study archaeological wood degradation // *Appl. Spectrosc. Rev.* 2015. V. 50. Iss. 7. P. 584–625.
- Łucejko J. J., Tamburini D., Zborowska M. M., Babiński L., Modugno F., Colombini M. P. Oak wood degradation processes induced by the burial environment in the archaeological site of Biskupin (Poland) // *Herit. Sci.* 2020. V. 8. Article number: 44. 12 p.
- Łucejko J. J., Tamburini D., Modugno F., Ribechini E., Colombini M. P. Analytical pyrolysis and mass spectrometry to characterize lignin in archaeological wood // *Appl. Sci.* 2021b. V. 11. Iss. 1. Article number: 240. 25 p.
- Łucejko J. J., Zborowska M., Modugno F., Colombini M. P., Prądzyński W. Analytical pyrolysis vs. classical wet chemical analysis to assess the decay of archaeological waterlogged wood // *Anal. Chim. Acta.* 2012. V. 745. P. 70–77.
- Mustoe G. E. Non-mineralized fossil wood // *Geosciences.* 2018. V. 8. Iss. 6. P. 223.
- Nierop K. G., Pulleman M. M., Marinissen J. C. Management induced organic matter differentiation in grassland and arable soil: a study using pyrolysis techniques // *Soil Biol. Biochem.* 2001. V. 33. N. 6. P. 755–764.
- Nikolouli K., Pournou A., McConnachie G., Tsiamis G., Mosialos D. Prokaryotic diversity in biodeteriorated wood coming from the Bükkábrány fossil forest // *Int. Biodeterior. Biodegr.* 2016. V. 108. P. 181–190.
- Nilsson T., Björdal C. Culturing wood-degrading erosion bacteria // *Int. Biodeterior. Biodegr.* 2008. V. 61. Iss. 1. P. 3–10.
- Obst J. R. Analytical pyrolysis of hardwood and softwood lignins and its use in lignin type determinations hardwood vessel elements // *J. Wood Chem. Technol.* 1983. V. 3. Iss. 4. P. 377–397.
- Obst J. R., McMillan N. J., Blanchette R. A., Christensen D. J., Faix O., Han J. S., Kuster T. A., Landucci L. L., Newman R. H., Pettersen R. C., Schwandt V. H., Wesolowski M. F. Characterization of Canadian Arctic fossil woods // *Tertiary fossil forests of the Geodetic Hills, Axel Heiberg Island, Arctic Archipelago / R. L. Christie, N. J. McMillan (Eds.). Geol. Surv. Can. 1991. Bull. 403. P. 123–146.*

- Ozgenç O., Durmaz S., Serdar B., Boyacı I. H., Eksi-Kocak H., Öztürk M. Characterization of fossil Sequoioxylon wood using analytical instrumental techniques // *Vibr. Spectrosc.* 2018. V. 96. P. 10–18.
- Pouwels A. D., Tom A., Eijkel G. B., Boon J. J. Characterization of beech wood and its holocellulose and xylan fractions by pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry // *J. Anal. Appl. Pyrol.* 1987. V. 11. P. 417–436.
- Romagnoli M., Galotta G., Antonelli F., Sidoti G., Humar M., Kržišnik D., Čufar K., Petriaggi B. D. Micro-morphological, physical and thermogravimetric analyses of waterlogged archaeological wood from the prehistoric village of Gran Carro (Lake Bolsena-Italy) // *J. Cult. Herit.* 2018. V. 33. P. 30–38.
- Romero L. M., Smith III T. J., Fourqurean J. W. Changes in mass and nutrient content of wood during decomposition in a south Florida mangrove forest // *J. Ecol.* 2005. V. 93. Iss. 3. P. 618–631.
- Rowell R. M., Dietenberger M. A. Thermal properties, combustion, and fire retardancy of wood // *Handbook of wood chemistry and wood composites* / R. M. Rowell (Ed.). 2nd ed. New York: CRC Press, 2013. P. 127–149.
- Saiz-Jimenez C., Boon J. J., Hedges J. I., Hessels J. K., De Leeuw J. W. Chemical characterization of recent and buried woods by analytical pyrolysis: Comparison of pyrolysis data with ¹³C NMR and wet chemical data // *J. Analyt. Appl. Pyrol.* 1987. V. 11. P. 437–450.
- Saiz-Jimenez C., De Leeuw J. W. Lignin pyrolysis products: Their structures and their significance as biomarkers // *Org. Geochem.* 1986. V. 10. Iss. 4–6. P. 869–876.
- Shen D., Jin W., Hu J., Xiao R., Luo K. An overview on fast pyrolysis of the main constituents in lignocellulosic biomass to valued-added chemicals: Structures, pathways and interactions // *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2015. V. 51. P. 761–774.
- Silva R. L., Duarte L. V., Filho J. G. Optical and geochemical characterization of Upper Sinemurian (Lower Jurassic) fossil wood from the Lusitanian Basin (Portugal) // *Geochem. J.* 2013. V. 47. Iss. 5. P. 489–498.
- Singh A. P. A review of microbial decay types found in wooden objects of cultural heritage recovered from buried and waterlogged environments // *J. Cult. Herit.* 2012. V. 13. Iss. 3. Suppl. P. 16–20.
- SriBala G., Toraman H. E., Symoens S., Déjardin A., Pilate G., Boerjan W., Ronsse F., Van Geem K. M., Marin G. B. Analytical Py-GC/MS of genetically modified poplar for the increased production of bio-aromatics // *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 2019. V. 17. P. 599–610.
- Stankiewicz B. A., Mastalerz M., Krüge M. A., van Bergen P. F., Sadowska A. A comparative study of modern and fossil cone scales and seeds of conifers: A geochemical approach // *New Phytol.* 1997. V. 135. Iss. 2. P. 375–393.
- Subagyo R. R. D. J. N., Qi Y., Chaffee A. L., Amirta R., Marshall M. Pyrolysis-GC/MS analysis of fast growing wood *Macaranga* species // *Indones. J. Sci. Technol.* 2021. V. 6. N. 1. P. 141–158.
- Tamburini D., Lucejko J. J., Modugno F., Colombini M. P. Characterisation of archaeological waterlogged wood from Herculaneum by pyrolysis and mass spectrometry // *Int. Biodeterior. Biodegr.* 2014. V. 86. Part B. P. 142–149.
- Tamburini D., Lucejko J. J., Zborowska M., Modugno F., Prądzyński W., Colombini M. P. Archaeological wood degradation at the site of Biskupin (Poland): Wet chemical analysis and evaluation of specific Py-GC/MS profiles // *J. Analyt. Appl. Pyrol.* 2015. V. 115. P. 7–15.
- Tamburini D., Lucejko J. J., Ribechini E., Colombini M. P. New markers of natural and anthropogenic chemical alteration of archaeological lignin revealed by in situ pyrolysis/silylation-gas chromatography-mass spectrometry // *J. Analyt. Appl. Pyrol.* 2016. V. 118. P. 249–258.
- Tomassetti M., Campanella L., Tomellini R., Meucci C. Thermogravimetric analysis of fresh and archeological waterlogged woods // *Thermochim. Acta.* 1987. V. 117. P. 297–315.
- Traoré M., Kaal J., Cortizas A. M. Application of FTIR spectroscopy to the characterization of archeological wood // *Spectrochim. Acta Part A: Mol. Biomol. Spectrosc.* 2016. V. 153. P. 63–70.
- Traoré M., Kaal J., Cortizas A. M. Potential of pyrolysis-GC-MS molecular fingerprint as a proxy of Modern Age Iberian shipwreck wood preservation // *J. Anal. Appl. Pyrol.* 2017. V. 126. P. 1–13.
- Uçar G., Meier D., Faix O., Wegener G. Analytical pyrolysis and FTIR spectroscopy of fossil *Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) wood and MWLs isolated hereof // *Holz Roh Werkst.* 2005. V. 63. Iss. 1. P. 57–63.
- Van Bergen P. F., Poole I., Ogilvie T. M., Caple C., Evershed R. P. Evidence for demethylation of syringyl moieties in archaeological wood using pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry // *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 2000. V. 14. Iss. 2. P. 71–79.
- Voitkevich O. V., Kabo G. J., Blokhin A. V., Paulechka Y. U., Shishonok M. V. Thermodynamic properties of plant biomass components. Heat capacity, combustion energy, and gasification equilibria of lignin // *J. Chem. Eng. Data.* 2012. V. 57. Iss. 7. P. 1903–1909.
- Zoia L., Tamburini D., Orlandi M., Lucejko J. J., Salanti A., Tolppa E.-L., Modugno F., Colombini M. P. Chemical characterisation of the whole plant cell wall of archaeological wood: an integrated approach // *Analyt. Bioanal. Chem.* 2017. V. 409. Iss. 17. P. 4233–4245.

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПИРОЛИТИЧЕСКАЯ ГАЗОВАЯ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ ИСКОПАЕМОЙ ДРЕВЕСИНЫ ИЗ МЕСТНОСТИ БЮККАБРАНИ, ВЕНГРИЯ

О. А. Шапченкова¹, С. Р. Лоскутов¹, М. А. Пляшечник¹, З. Пастори²

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

² Университет Шопрона
Венгрия, 9400, Шопрон, ул. Байчи-Жилински, 4

E-mail: shapchenkova@mail.ru, lsr@ksc.krasn.ru, lilwood@ksc.krasn.ru, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Ископаемая древесина возрастом около 7 млн лет из Бюккабрани (Венгрия) была проанализирована с помощью термогравиметрии (ТГ), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии (Пи-ГХ/МС) для оценки изменения ее химического состава. В качестве контроля был взят образец древесины таксодиума двурядного (болотного кипариса обыкновенного) (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) из Западной Венгрии. Ископаемая древесина характеризовалась более высоким содержанием общего углерода (58.05 %) и общего азота (0.44 %) по сравнению с современной древесиной. ТГ ископаемой древесины показала высокую неоднородность древесинного вещества, значительную потерю полисахаридов и обогащение лигнином, включая более термостабильные компоненты (> 500 °C). Изменение энтальпии (ΔH) сгорания (термоокисления) ископаемой древесины было значительно больше, чем современной древесины (–18.08 против –11.41 кДж/г). Пи-ГХ/МС ископаемой древесины показала значительное уменьшение продуктов пиролиза полисахаридов и увеличение продуктов пиролиза лигнина по сравнению с современной древесиной. Пиролитическое отношение Н/Л свидетельствует о преимущественной потере полисахаридов в ископаемой древесине. Продукты пиролиза полисахаридов встречались редко и были представлены в основном левоглюкозаном. Лигнин также претерпел существенные изменения. Резкое уменьшение доли мономеров, увеличение доли соединений с короткой боковой цепью и присутствие деметилированных/деметоксилированных соединений в составе продуктов пиролиза лигнина указывает на изменение (деградацию) лигнина. Кроме того, отмечено высокое содержание стирола, крезолов, фенола и фенольных соединений.

Ключевые слова: термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия, аналитический пиролиз, оценка изменения химического состава ископаемой древесины, таксодиум двурядный (*Taxodium distichum* (L.) Rich.), Западная Венгрия.

Shapchenkova O. A., Loskutov S. R., Plyashechnik M. A., Pásztor Z. Thermal analysis and pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry of fossil wood from of Bükkábrány, Hungary (Шапченкова О. А., Лоскутов С. Р., Пляшечник М. А., Пастори З. Термический анализ и пиролитическая газовая хромато-масс-спектрометрия ископаемой древесины из местности Бюккабрани, Венгрия) // Сибирский лесной журнал. 2022. № 5. С. 56–69 (на английском языке, реферат на русском).

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ

УДК 582+630*

А. П. АБАИМОВ И ЕГО НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ (К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ, 18.08.1947–14.07.2006)

О. А. Зырянова, Е. Н. Муратова, А. И. Бондарев

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, elena-muratova@ksc.krasn.ru, abondarev@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 24.06.2022 г.

Статья посвящена научному наследию известного дендролога и лесовода Анатолия Платоновича Абаимова, внесшего большой вклад в изучение видов лиственницы (*Larix Mill.*) Сибири и Дальнего Востока, лиственничных лесов криолитозоны, а также особенностей и закономерностей лесообразовательного процесса в них и обосновавшего количественные и качественные морфологические признаки для диагностики лиственниц Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) и Каяндера (*L. cajanderi* Mayr), их экологическую специализацию, наличие зависимости в географической изменчивости данных признаков и интрогрессивной гибридизации между ними, а также детально охарактеризовавшему лесоводственно-таксационную специфику, экологические функции и динамику лиственничных формаций Сибири под влиянием природных и антропогенных факторов. Показан вклад Анатолия Платоновича в организацию долговременного российско-японского сотрудничества в области оценки глобальной роли лесных экосистем криолитозоны в эмиссии и поглощении парниковых газов. Описана его общественная и педагогическая деятельность А. П. Абаимова. Приведены список научных работ ученого и перечень диссертаций, защищенных под его руководством.

Ключевые слова: лиственницы Гмелина и Каяндера, систематика, география, изменчивость, особенности экологии, лесообразовательный процесс, криолитозона Сибири.

DOI: 10.15372/SJFS20220506

18 августа 2022 г. исполнилось бы 75 лет со дня рождения Анатолия Платоновича Абаимова, главного научного сотрудника Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, доктора биологических наук, профессора, неутраченного исследователя лесов Севера Сибири, долгие годы возглавлявшего изучение лесных сообществ на многолетней мерзлоте, ушедшего из жизни после тяжелой продолжительной болезни задолго до юбилея.

А. П. Абаимов родился в таежном селе Кордово Курагинского района Красноярского края. По окончании лесохозяйственного факультета Сибирского технологического института (СибТИ) в 1969 г. Анатолий Платонович был выдвинут на комсомольскую работу в должности секретаря комитета ВЛКСМ Института.

В 1974–1980 гг. был ассистентом на кафедре лесоводства СибТИ, в 1980 г. завершил обучение в заочной аспирантуре Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР (ИЛиД) успешной защитой кандидатской диссертации на тему «Лиственницы Гмелина и Каяндера (систематика, география, изменчивость, естественная гибридизация)».

В 1981–1988 гг. он работал заместителем, а потом заведующим отделом науки и учебных заведений Красноярского краевого комитета КПСС. В эти годы шло активное формирование Красноярского научного центра СО АН СССР, создание сети опорных экспедиционных пунктов, инфраструктуры красноярского Академгородка, его жилищного фонда. Роль руководителя отдела науки в этих процессах была очень зна-



Анатолий Платонович Абаимов

чимой. При перегрузке основными служебными обязанностями Анатолий Платонович находил время для преподавательской и научной работы в СибТИ и ИЛиД.

В 1988 г. А. П. Абаимов перешел на работу в Институт леса им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, где проработал до января 2006 г. заместителем директора по научной работе и одновременно заведующим отделом лесоводства. В этот период он избирался членом Президиума Красноярского научного центра, Объединенного ученого совета Сибирского отделения РАН по биологическим наукам, Научного совета РАН по проблемам леса, представлял коллектив научных сотрудников Института на общих собраниях Сибирского отделения и Российской академии наук, был заместителем Председателя диссертационного совета Института леса, членом диссертационного совета СибТИ (рис. 2, 3).

В 1997 г. в ЦСБС СО РАН А. П. Абаимов защитил докторскую диссертацию по теме «Лиственничные леса и редколесья Севера (разнообразие, особенности экологии и лесообразовательного процесса)» по специальностям «ботаника» и «экология»; в 2001 г. ему присвоено ученое звание профессора. Анатолий Платонович был прекрасным педагогом. Будучи профессором кафедры лесоводства СибТИ, он разработал специальный курс мерзлотного лесоведения, был автором методических пособий и учебных программ. Не менее успешно он читал лекции по лесоведению и в Красноярском государственном

университете. Под его руководством выполнено и защищено 6 кандидатских диссертаций. Он часто рецензировал диссертационные работы, выступал в качестве официального оппонента, помогал диссертантам при подготовке докторских и кандидатских работ.

Свою научную деятельность А. П. Абаимов начал под руководством академика И. Ю. Коропачинского как дендролог. Следуя примеру предшественников – исследователей лиственницы (*Larix Mill.*) – В. Н. Сукачева, Н. В. Дылиса, Л. К. Позднякова, А. И. Уткина и др., он не ограничился описанием биологических особенностей лиственниц Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), Каяндера (*L. cajanderi* Mayr), сибирской (*L. sibirica* Ledeb.), а детально характеризовал лесоводственно-таксационную специфику, экологические функции и динамику лиственничных формаций под влиянием природных и антропогенных факторов.

В результате исследований, проведенных в природных популяциях, он установил, что лиственницы Гмелина и Каяндера хорошо обособлены географически и уточнил, а в ряде районов – впервые очертил границы ареалов изучаемых видов, что существенно изменило сложившиеся к тому времени представления. Было доказано наличие интрогрессивной гибридизации между данными видами лиственницы и нанесена на карту полоса переходных гибридов.



Рис. 2. Е. Н. Муратова и А. П. Абаимов на демонстрации 7 ноября 1980 г. в колонне Института леса и древесины СО РАН. Красноярск.



Рис. 3. Дирекция Института леса и древесины за решением трудной проблемы: слева-направо: А. С. Исаев, Л. И. Милютин, А. П. Абаимов. Красноярск, 1988 г.

ных форм площадью 350 тыс. км², расширяющаяся в южной части контактной зоны.

Одновременно проведено исследование, касающееся их научных названий. Вслед за Е. Г. Бобровым, А. П. Абаимов пришел к выводу, что приоритетное научное название лиственницы даурской – *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., ее пионерное ботаническое описание было сделано Рупрехтом в 1845 г.

Одновременно установлено, что изучаемые лиственницы существенно различаются между собой и с другими видами рода лиственница по ряду эколого-биологических признаков. Примерами экологической специализации и подтверждением видовой самостоятельности лиственниц Гмелина и Каяндера являются обнаруженные различия в потребности суммы положительных температур для начала цветения, семенном покое, сроках и характере рассеивания семян.

На основании сравнительного изучения полиморфизма восточносибирских видов лиственницы А. П. Абаимовым выявлены количественные и качественные признаки для диагностики лиственниц Гмелина и Каяндера в природной обстановке. Наиболее надежные среди них – угол отклонения семенных чешуй от оси, ширина зрелых шишек и их форма. Независимо от условий местопроизрастания и географического распространения у лиственницы Гмелина ширина шишек всюду меньше, а у лиственницы Каяндера, наоборот, больше их длины. Установлено, что форма шишек – наследуемый признак: для лиственницы Гмелина характерны овальные и

яйцевидные шишки, для л. Каяндера – сплюснuto-шаровидные. Гибридные особи в зоне контакта родительских видов по этим признакам занимают промежуточное положение. В качестве дополнительных диагностических признаков могут привлекаться длина шишек и число чешуй в них, а также длина хвои и число хвоинок в пучке.

Резюмируя проведенные исследования, А. П. Абаимов сделал вывод, что наличие географической зависимости в изменчивости наиболее важных для диагностики морфологических признаков подтверждает мнение Е. Г. Боброва относительно видовой самостоятельности лиственниц Гмелина и Каяндера.

Исследования внутривидовой изменчивости морфологических и эколого-биологических признаков лиственницы Гмелина были продолжены Анатолием Платоновичем в северных районах Красноярского края в рамках большого интеграционного проекта Архангельского института леса и лесохимии (ныне Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства) по разработке системы ведения лесного хозяйства в предтундровых лесах (1988–1990 гг.), в котором ИЛиД был соисполнителем темы в азиатской части страны. В рамках проекта Институтом были начаты комплексные исследования красноярского Заполярья, включая территорию Норильского промышленного района. В результате трехлетних исследований сформулированы предложения по ведению лесного хозяйства в притундровых лесах, включая рекомендации по рациональным способам рубок,

охране лесов от пожаров, проведению санитарных рубок и освоению горельников, облесению вырубок и гарей. Было разработано лесорастительное и пирологическое районирование притундровых лесов азиатской части страны. Косвенными, но не менее значимыми результатами выполнения проекта стала организация в 1989 г. при непосредственном участии А. П. Абаимова Эвенкийского опорно-экспедиционного пункта (ОЭП) в п. Тура, а также создание в 1991 г. на базе сформированного коллектива исполнителей проекта лаборатории мерзлотного лесоведения, которой долгие годы руководил Анатолий Платонович, тем самым продолжив начатые Л. К. Поздняковым в Якутии исследования лесов криолитозоны.

Задачи лаборатории были направлены на познание структуры и динамики северотаежных лиственничников, выявление закономерностей лесообразовательного процесса, оценку экологических и биосферных функций лесного покрова Крайнего Севера, разработку научных основ использования, охраны и воспроизводства северных лесов. Для их решения в лаборатории были собраны специалисты разных отраслей: лесоводы, пирологи, геоботаники, геоморфологи, палеокарпологи, почвовед, экофизиологи – своеобразный институт в миниатюре.

Неутомимый исследователь лиственничных лесов Сибири (при подготовке кандидатской диссертации маршруты сбора материала по общей протяженности превысили 10 тыс. км и включали 180 пунктов в Якутской АССР, Красноярском крае, Иркутской, Читинской, Амурской и Магаданской областях) А. П. Абаимов теперь вместе с сотрудниками лаборатории продолжил «осваивать» новые территории. Им были организованы экспедиционные маршруты в труднодоступные районы эвенкийских лесов: центральную часть плато Путорана, Мойеро-Котуйской равнину, бассейны рек Виви, Таймура и Тембенчи. Одновременно на самом стационаре были заложены постоянные пробные площади для проведения долговременных наблюдений (рис. 4, 5).

Характеризуя распространение лесов на севере Средней и Восточной Сибири, А. П. Абаимов указывал, что тундровые ландшафты проникают на юг по водоразделам до 63–64° с. ш., а лесные сообщества, наоборот, могут распространяться на север по долинам рек до 70–71° с. ш. Такое взаимное проникновение прослеживается на пространствах, простирающихся с севера на юг на 300–600 км и более. Эти особенности

позволили признать термин «притундровые леса» наиболее приемлемым для территории Сибири, в отличие от термина «предтундровые леса», применяемого для обозначения своеобразной полосы лесов, расположенной перед зональной лесотундрой на Севере Европейской части России.

Сотрудники лаборатории впервые сформулировали количественное определение понятий «редина» и «редколесье», используемые при характеристике редкостойных лесов Севера.

В качестве самостоятельной категории лесных земель «редколесья» было предложено выделять древостои с полнотой 0.1–0.3 с отношением их к покрытым лесом землям, к категории «естественные редины» – древостои с относительной полнотой менее 0.1. Даны обоснование этих категорий и количественные нормативы (сумма площадей сечений, сомкнутость полога и густота) для их выделения.

В 1997 г. в издательстве «Наука» вышла монография А. П. Абаимова, А. И. Бондарева, О. А. Зырянова, С. А. Шитовой «Леса Красноярского Заполярья», подводившая итоги первого этапа лесоводственных исследований притундровых лесов.

В 1998 г. в Швеции опубликована на английском языке монография А. П. Абаимова с соавторами «Variability and ecology of Siberian larch species». Эта книга подводила итог многолетних исследований видов лиственницы в Сибири и была первой доступной для иностранного читателя сводкой, охватывающей широкий спектр вопросов: от обзора истории ботанико-систематического изучения сибирских видов лиственницы до обсуждения перспектив их интродукции в Северо-Западную Европу (Финляндия, Швеция, Норвегия, Исландия).

Под руководством А. П. Абаимова коллектив лаборатории внес заметный вклад в изучение биологического разнообразия, закономерностей формирования и динамики лесов мерзлотной зоны под влиянием пожаров, механизмов адаптации лесообразующих видов к экстремальным условиям среды. Были сформулированы лесоводственно-геоботанические особенности лиственничных экосистем эвенкийского сектора криолитозоны:

- низкая продуктивность древостоев (15–90 м³/га);
- низкая сомкнутость древесного полога (0.1–0.5);
- преобладание в структуре древостоев тонкомерных деревьев (56–84 %);



Рис. 4. Вырастет ли лес? Дискуссия на гари. Эвенкия, 1998 г.



Рис. 5. Выше верхней границы леса в горах Путорана. Эвенкия, 1998 г.

- разновозрастная структура древостоев без выраженных поколений;
- низкий возобновительный потенциал под пологом насаждений (0.5–1.5 тыс. шт./га);
- высокая природная пожарная опасность;
- самое низкое видовое разнообразие среди лесных экосистем Северной Евразии;
- большая доля в структуре нижних ярусов растительности древесных видов, мхов и лишайников.

А. П. Абаимов руководил рядом научных проектов Федеральной целевой программы «Интеграция», Интеграционных проектов СО РАН, грантов РФФИ, Красноярского краевого фонда науки (ККФН), регионального конкурса РФФИ – ККФН. Под его руководством выполнялись хозяйственные договоры с Федеральной службой лесного хозяйства России, с АО «Сургутнефтегаз», в рамках краевой программы «Новые технологии для управления и развития региона». Талант организатора у него особенно проявился при выполнении коллективами шести институтов Красноярского научного центра комплексных экспедиционных работ по изучению состояния наземных экосистем Крайнего Севера, подвергающихся техногенному воздействию.

Результат выполнения некоторых хозяйственных договоров – разработка научно-практических рекомендаций. В 1995 г. в Государственный краевой внебюджетный экологический фонд были переданы материалы по 14 видам лекарственных растений, требующих государственной и местной охраны. Они стали базой для оптимизации размещения природных заказников и резерватов при создании сети особо охраняемых территорий в Красноярском крае. В 1996 г. были разработаны «Рекомендации по охране лесов от пожаров в Эвенкии», а также подготовлены и переданы в Федеральную службу лесного хозяйства России «Основные положения по организации лесопромышленной и лесохозяйственной деятельности на территории проживания малочисленных народов Севера Восточной Сибири».

Отдельно следует сказать о международном российско-японском сотрудничестве, начало которому положил А. П. Абаимов. Первый исследовательский проект между Институтом леса им. В. Н. Сукачева СО РАН и Институтом лесоводства и лесных продуктов Японии появился в 1994 г. Он назывался «Особенности лесных пожаров и их влияние на круговорот углерода и рост деревьев в Центральной Сибири». В период 1994–2000 гг. в рамках проекта на территории

модельного полигона в Эвенкии предстояло решить ряд задач:

- проанализировать данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для выявления частоты и интенсивности лесных пожаров;
- определить запасы фитомассы различных компонентов лиственных экосистем и аккумулярованного в них углерода;
- выявить особенности роста лиственницы в условиях многолетней мерзлоты;
- определить направления и темпы послепожарных восстановительных сукцессий;
- выявить особенности послепожарной трансформации видового разнообразия, экологических и эдафических условий и эмиссии углерода в атмосферу на начальных этапах сукцессий.

Поставленные в российско-японском проекте задачи тесно перекликались с направлениями исследований лаборатории мерзлотного лесоведения, расширяя их границы. Последующие проекты были связаны с оценкой баланса углерода в лиственных лесах криолитозоны Северной Евразии. Необходимость таких исследований продиктована глобальными изменениями климата, одной из главных причин которого стало повышение содержания CO_2 в атмосфере, а также необходимо было выяснить глобальную роль сибирских лесных экосистем в эмиссии и поглощении парниковых газов.

Для решения поставленных задач на Эвенкийском ОЭП была установлена вышка, оснащенная комплектом метеорологического и сенсорного оборудования для одновременного измерения потоков CO_2 , водяного пара и тепла. Полученные данные позволили сделать вывод о том, что лиственничники криолитозоны Сибири являются резервуаром для стока атмосферного углерода, снижая тем самым эффект глобального потепления. Однако кумулятивный эффект поглотительной способности лиственничников, равный $76\text{--}78 \text{ гС/м}^2$, за вегетационный период (91 день) существенно ниже соответствующих показателей для других бореальных экосистем.

Этот и многие другие интересные результаты совместных исследований легли в основу монографии «Permafrost ecosystems: Siberian larch forests», изданной в 2010 г. уже после ухода Анатолия Платоновича из жизни, но он был ее идейным вдохновителем, поскольку с самого начала совместных российско-японских исследований настаивал на подобной публикации, подводившей итог очередному этапу изучения лесов криолитозоны. Его мечта осуществилась.

А. П. Абаймов – автор и соавтор более 150 научных публикаций, в том числе 8 книг и учебных пособий. Значительная часть его работ вышла в академических и зарубежных журналах. Он входил в состав редколлегий «Сибирского экологического журнала», «Лесоведения» и организованного с его непосредственным участием международного журнала «Eurasian Journal of Forest Research» (Университет Хоккайдо, Саппоро, Япония).

Анатолий Платонович не только проводил исследования на постоянных пробных площадях Эвенкийского стационара, ему не было равных по протяженности проделанных экспедиционных маршрутов. Любимые из них – лодочные, через «непуганые» пространства. Они ведь давали возможность еще и порыбачить, и поохотиться! На стационаре он придерживался традиций. Это и знаменитый русский хлеб-соль при встречах иностранных гостей, и традиционные дни японской кухни, и песни у костра в минуты отдыха. Во всех событиях этот человек принимал самое деятельное участие, а во многих случаях был и организатором мероприятий. Он умел приготовить вкусную еду, топить печку (многих даже научил этому). Даже в экспедиционных условиях окружающих «дисциплинировал» его внешний вид: подтянутость, аккуратность, элегантность.

Особо следует отметить, что Анатолий Платонович был прирожденным оратором. Немногие умеют так ясно, четко, интересно и аргументировано выражать свои мысли. Его речь завораживала и убеждала, заставляла задуматься и побуждала к действию.

Любое сотрудничество может быть плодотворным только в случаях, когда его участники напрямую общаются друг с другом. В 1995 г. на Эвенкийском стационаре Института высадили десант японских ученых, и общаться с коллегами А. П. Абаймову, который и в школе, и в институте изучал немецкий, пришлось через коллег, говорящих по-английски. Это было долго, неудобно, обсуждение любых мелочей отнимало много времени. Тогда А. П. Абаймов начал изучать английский язык на кафедре иностранных языков Красноярского научного центра, причем в группе для начинающих. И через 1.5 года он уже делал доклад в Институте лесоводства и лесных продуктов в г. Цукуба (Япония) на английском! А ведь там нужно было еще и отвечать на вопросы. Вот такой силой воли обладал этот человек!

Анатолий Платонович прожил яркую жизнь и очень много успел сделать для лесной науки, для всех, кто был с ним знаком. Он не проиграл ни одного жизненного сражения, был надежным товарищем, умел дружить и ценить дружбу, любил посидеть с гитарой у костра, охоту, рыбалку и многое другое. А еще он любил песни Владимира Высоцкого. И слова из песни знаменитого барда «рвусь из сил и из всех сухожилий...» вполне могли бы быть девизом жизни Анатолий Платоновича Абаймова!

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

А. П. АБАЙМОВА

Книги и главы в книгах

- Абаймов А. П., Коропачинский И. Ю. Лиственницы Гмелина и Каяндера. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 120 с.
- Abaimov A. P., Sofronov M. A. The main trends of post-fire succession in near-tundra forests of Central Siberia // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia / J. G. Goldammer, V. V. Fyryaev (Eds.). Springer Dordrecht, 1996. P. 372–386.
- Абаймов А. П., Бондарев А. И., Зырянова О. А., Шумова С. А. Леса Красноярского Заполярья. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
- Abaimov A. P., Lesinski J. A., Martinsson O., Milyutin L. I. Variability and ecology of Siberian larch species. Sweden, Umeå: Swed. Univ. Agr. Sci., Dep. Silviculture, 1998. Rep. 43. 123 p.
- Прокушкин С. Г., Абаймов А. П., Прокушкин А. С. Структурно-функциональные особенности лиственницы Гмелина в криолитозоне Центральной Эвенкии. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008. 161 с.
- Абаймов А. П., Гуков Г. В., Милютин Л. И. Систематика лиственниц Азиатской России // Биоразнообразие лиственниц Азиатской России. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2010. С. 7–20.
- Абаймов А. П., Милютин Л. И., Гуков Г. В., Барченков А. П., Князева С. Г., Судачкова Н. Е., Милютина И. Л. Морфофизиологическая изменчивость лиственниц Сибири и Дальнего Востока // Биоразнообразие лиственниц Азиатской России. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2010. С. 21–33.
- Zyryanova O. A., Abaimov A. P., Daimaru H., Matsuura Y. Floristic diversity and its geographical background in Central Siberia // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R. W. Wein (Eds.). Springer Dordrecht, 2010. P. 17–39.
- Abaimov A. P. Geographical distribution and genetics of Siberian larch species // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R. W. Wein (Eds.). Springer Dordrecht, 2010. P. 41–58.
- Zyryanova O. A., Abaimov A. P., Bugaenko T. N., Bugaenko N. N. Recovery of Forest vegetation after fire disturbance // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests /

- A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R. W. Wein (Eds.). Springer Dordrecht, 2010. P. 83–96.
- Kajimoto T., Osawa A., Usoltsev V. A., Abaimov A. P. Biomass and productivity of Siberian larch forest ecosystems // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R. W. Wein (Eds.). Springer Dordrecht, 2010. P. 99–122.
- Koike T., Mori S., Zyryanova O. A., Kajimoto T., Matsuura Y., Abaimov A. P. Photosynthetic characteristics of trees and shrubs growing on the North- and South-facing slopes in Central Siberia // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R. W. Wein (Eds.). Springer Dordrecht, 2010. P. 273–287.
- Yasue K., Kujansuu J., Kajimoto T., Nakai Y., Koike T., Abaimov A. P., Matsuura Y. Seasonal changes in stem radial growth of *Larix gmelinii* in Central Siberia in relation to its climatic responses // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R. W. Wein (Eds.). Springer Dordrecht, 2010. P. 331–345.
- Учебные пособия**
- Абаимов А. П., Матвеев П. М. Мерзлотное лесоведение: Учеб. пособ. для студ. спец-ти 260400 всех форм обучения. Красноярск: СибГТУ, 1999. 249 с.
- Диссертации и авторефераты диссертаций**
- Абаимов А. П. Лиственницы Гмелина и Каяндера (систематика, география, изменчивость, естественная гибридизация): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 – Ботаника. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1980. 228 с.
- Абаимов А. П. Лиственницы Гмелина и Каяндера (систематика, география, изменчивость, естественная гибридизация): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 – Ботаника. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1980. 28 с.
- Абаимов А. П. Лиственничные леса и редколесья Севера Сибири (разнообразие, особенности экологии и лесообразовательного процесса): дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 – Экология; 03.00.05 – Ботаника. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 1997. 537 с.
- Абаимов А. П. Лиственничные леса и редколесья Севера Сибири (разнообразие, особенности экологии и лесообразовательного процесса): автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 – Экология; 03.00.05 – Ботаника. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 1997. 32 с.
- Научные статьи и другие публикации**
- Лузганов А. Г., Абаимов А. П. Роль речных бассейнов и ветра в расселении и эволюции лиственниц, кедра сибирского и других древесных пород // Лиственница: Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1977. Т. 8. С. 31–38.
- Абаимов А. П. Морфологическая изменчивость хвои лиственницы в бассейне р. Вилюй // Лиственница: Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1977. Т. 8. С. 38–48.
- Абаимов А. П. Некоторые особенности естественного возобновления лиственничных лесов в верховьях р. Вилюй // Лиственница и ее использование: Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1978. Вып. 9. С. 9–15.
- Абаимов А. П., Карпель Б. А. Об изменчивости шишек лиственницы в западных районах Якутии // Лиственница и ее использование: Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1978. Вып. 9. С. 38–44.
- Абаимов А. П., Коропачинский И. Ю. О полиморфизме лиственниц Гмелина и Каяндера // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. 1979. № 5–1. С. 38–44.
- Абаимов А. П., Коропачинский И. Ю., Карпель Б. А. О границах ареалов восточносибирских видов лиственниц // Бот. журн. 1980. Т. 65. № 1. С. 118–120.
- Матвеев П. М., Абаимов А. П. К оценке роли огня в лиственничных древостоях на мерзлотных почвах // Лесные пожары и их последствия. Красноярск, 1980. С. 123–129.
- Севастьянов В. Н., Абаимов А. П. Деятельность Красноярской краевой партийной организации по повышению роли науки и развития производительных сил края // Красноярский край на Ленинском пути коммунистического созидания: Тез. сообщ. научно-практ. конф. «Воплощение ленинских идей в реальном социализме и современная идеологическая борьба». Красноярск, 1983. С. 82–88.
- Матвеев П. М., Абаимов А. П. Послепожарное возобновление лиственницы в различных поясах зоны распространения вечной мерзлоты // Лиственница и ее комплексная переработка: Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1985. С. 28–34.
- Абаимов А. П., Бондарев А. И., Цветков П. А. Краткий очерк лиственничных лесов Северо-Востока Эвенкии // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие: Материалы междунар. симпоз. Ч. 2. М., 1990. С. 3–12.
- Абаимов А. П., Бондарев А. И., Коротков И. А., Софронов М. А. Эколого-географические особенности притундровых лесов Сибири // Эколого-географические проблемы сохранения и восстановления лесов Севера: Тез. докл. Всес. науч. конф., посв. 280-летию со дня рождения М. В. Ломоносова. Архангельск, 1991. С. 67–69.
- Абаимов А. П., Бондарев А. И. Лесоводственная оценка рубок в притундровых лесах Средней Сибири // Лесн. хоз-во. 1992. № 8-9. С. 26–28.
- Абаимов А. П., Бондарев А. И. Проблемы притундрового лесоводства Сибири // Лесн. хоз-во. 1994. № 6. С. 29–31.
- Абаимов А. П. Структура природных популяций лиственницы Гмелина по окраске молодых шишек в криолитозоне Средней Сибири // Бот. иссл. в Сибири. Красноярск. 1995. № 4. С. 4–11.
- Абаимов А. П., Бондарев А. И. Эколого-географические особенности притундровых лесов Средней Сибири и организация хозяйства в них // Проблемы притундрового лесоводства. Архангельск, 1995. С. 42–55.
- Абаимов А. П., Зырянова О. А., Коротков И. А. Типологическая структура притундровых лесов Красноярского края // Проблемы притундрового лесоводства. Архангельск, 1995. С. 104–115.
- Абаимов А. П., Милютин Л. И. Современные представления о лиственницах Сибири и проблемы их изучения // Проблемы дендрологии. XIII чтения памяти академика В. Н. Сукачева. Новосибирск, 1995. С. 41–60.

- Абаимов А. П., Зырянова О. А., Михайлова И. А., Мороз С. Н., Шитова С. А. Комплексное картографирование притундровых лесов центральной части Плато Путорана // Геогр. и природ. ресурсы. 1995. № 3. С. 158–165.
- Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Mikhaylova I. A., Moroz S. N., Shitova S. A. Multipurpose mapping of the forests of the Central Putorana upland, East Siberia // Map. Sci. Rem. Sens. 1995. V. 32. N. 4. P. 274–283.
- Abaimov A. P. The larches of Siberian permafrost zone and their species peculiarities in progressive successions // Proc. IUFRO Working party S2.02–07, 31 July – 4 August 1995. Larch genetics and breeding. Sweden, Umea, 1995. P. 11–15.
- Takahashi K., Abaimov A. P. A big forest fire in permafrost area of Eastern Siberia // Proc. Third Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1994. Japan, Sapporo, 1995. P. 109–112.
- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А. Эколого-фитоценотическая оценка воздействия пожаров на леса криолитозоны Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 1996. Т. 3. № 1. С. 51–60.
- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А., Каверзина Л. Н. Особенности формирования и функционирования лиственничных лесов на мерзлотных почвах // Лесоведение. 1997. № 5. С. 13–23.
- Абаимов А. П., Софронов М. А. Об экосистемном подходе к выделению притундровых лесов // Экология. 1997. № 4. С. 253–255.
- Абаимов А. П., Бондарев А. И. Критерии выделения северных редколесий и биологических редин в редкостойных лесах Севера // Лесоведение. 1997. № 1. С. 45–50.
- Abaimov A. P., Kanazawa Y., Prokushkin S. G., Zyryanova O. A. Postfire transformation of larch ecosystems in Siberian permafrost zone // Proc. Fifth Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1996. Japan, Tsukuba, 1997. P. 129–137.
- Osawa A., Abaimov A. P., Zyryanova O. A. Reconstructing structure of a larch forest in Central Siberia // Proc. Fifth Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1996. Japan, Tsukuba, 1997. P. 138–142.
- Matsuura Y., Abaimov A. P. Changes in soil carbon and nitrogen storage after forest fire of larch taiga forests in Tura, Central Siberia // Proc. Seventh Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1998. Japan, Sapporo, 1998. P. 130–135.
- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А. Особенности послепожарных повреждений и функционирования лиственничных лесов мерзлотной зоны Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 1998. Т. 5. № 3–4. С. 315–323.
- Mori S., Prokushkin S. G., Masyagina O. V., Kajimoto T., Zyryanova O. A., Abaimov A. P., Koike T., Matsuura Y., Ueda R. Daytime whole-tree respiration under controlled air temperature utilizing heat of permafrost and wood fire in a Siberian larch forest // Proc. Sixth Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1997. Japan, Tsukuba, 1998. P. 11–17.
- Kajimoto T., Matsuura Y., Mori S., Sofronov M. A., Volokitina A. V., Abaimov A. P., Osawa A. Above- and belowground biomass and net primary productivity of a *Larix gmelinii* stand near Tura, Central Siberia // Tree Physiol. 1999. V. 19. N. 12. P. 815–822.
- Abaimov A. P., Erkalov A. V., Prokushkin S. G., Matsuura Y., Osawa A., Kajimoto T., Takenaka A. The conservation and quality of Gmelin larch seeds in cryolithic zone of Central Siberia // Proc. Eighth Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1999. Japan, Tsukuba, 2000. P. 3–9.
- Prokushkin A. S., Prokushkin S. G., Koike T., Mori S., Abaimov A. P. Fluxes of water-soluble organic carbon in larch ecosystems of the Northern part of Middle Siberia // Proc. Eighth Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1999. Japan, Tsukuba, 2000. P. 135–142.
- Mori S., Koike T., Yanagihara Y., Masyagina O. V., Prokushkin S. G., Kajimoto T., Zyryanova O. A., Abaimov A. P., Matsuura Y., Ueda T. Daytime whole-tree respiration of *Larix gmelinii* trees in Middle Siberia // Proc. Eighth Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1999. Japan, Tsukuba, 2000. P. 55–58.
- Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Prokushkin S. G., Koike T., Matsuura Y. Forest ecosystems of the cryolithic zone of Siberia; regional features, mechanisms of stability and pyrogenic changes // Euras. J. For. Res. 2000. V. 1. P. 1–10.
- Yanagihara Y., Koike T., Matsuura Y., Mori S., Shibata H., Satoh F., Masuyagina O. V., Zyryanova O. A., Prokushkin A. S., Prokushkin S. G., Abaimov A. P. Soil respiration rate on the contrasting north- and south-facing slopes of a larch forest in Central Siberia // Euras. J. For. Res. 2000. V. 1. P. 19–29.
- 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.
- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А., Каназав Ю., Такахаси К. Экологическая и лесообразующая роль пожаров в криолитозоне Сибири // Лесоведение. 2001. № 5. С. 50–59.
- 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.
- 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.
- Prokushkin A. S., Prokushkin S. G., Shibata H., Matsuura Y., Abaimov A. P. Dissolved organic carbon in coniferous forests of central Siberia // Euras. J. For. Res. 2001. V. 2. P. 45–58.
- Yazaki K., Funada R., Mori S., Maruyama Y., Abaimov A. P., Kayama M., Koike T. Growth and annual ring structure of *Larix sibirica* grown at different carbon dioxide concentrations and nutrient supply rates // Tree Physiol. 2001. V. 21. N. 16. P. 1223–1229.
- Прокушкин С. Г., Абаимов А. П., Прокушкин А. С., Каверзина Л. Н. Азотное питание лиственничников на мерзлотных почвах Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 2002. Т. 9. № 2. С. 203–211.
- Abaimov A. P., Barzut V. M., Berkutenko A. N., Buitink J., Martinsson O., Milyutin L. I., Polezhaev A., Putenikhin V. P., Takata K. Seed collection and seed quality of *Larix* spp. from Russia: initial phase on the Russian-Scandinavian Larch Project // Euras. J. For. Res. 2002. V. 4. P. 39–49.
- Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Prokushkin S. G. Long-term investigations of larch forests in cryolithic zone of Siberia: brief history, recent results and possible changes under

- global warming // *Euras. J. For. Res.* 2002. V. 5. N. 2. P. 95–106.
- Прокушкин А. С., Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Гавриленко И. В. Растворенный органический углерод в водотоках мерзлотной зоны Центральной Эвенкии // *Сиб. экол. журн.* 2003. Т. 10. № 6. С. 727–734.
- 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 and Soil.* 2003. V. 255. N. 1. P. 281–292.
- Osawa A., Abaimov A. P., Matsuura Y., Kajimoto T., Zyryanova O. A. Anomalous patterns of stand development in larch forest of Siberia (Extended Abstract) // *Tohoku Geophys. J. (Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5).* 2003. V. 36. N. 4. P. 471–474.
- Kajimoto T., Matsuura Y., Osawa A., Abaimov A. P., Prokushkin S. G., Zyryanova O. A., Sofronov M. A., Volokitina A. V., Mori S., Koike T. Interactions between root system development and permafrost soil environments on Siberian larch forests (Extended Abstract) // *Tohoku Geophys. J. (Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5).* 2003. V. 36. N. 4. P. 479–483.
- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Суховольский В. Г., Овчинникова Т. М. Оценка и прогноз послепожарного состояния лиственницы Гмелина на мерзлотных почвах Средней Сибири // *Лесоведение.* 2004. № 2. С. 3–11.
- Ларионова А. Я., Яхнева Н. В., Абаимов А. П. Генетическое разнообразие и дифференциация популяций лиственницы Гмелина в Эвенкии (Средняя Сибирь) // *Генетика.* 2004. Т. 40. № 10. С. 1370–1377.
- Larionova A. Y., Yakhneva N. V., Abaimov A. P. Genetic diversity and differentiation of Gmelin Larch *Larix gmelinii* populations from Evenkia (Central Siberia) // *Rus. J. Genet.* 2004. V. 40. Iss. 10. P. 1127–1133 (Original Russian Text © A. Y. Larionova, N. V. Yakhneva, A. P. Abaimov, 2008, publ. in *Genetika.* 2004. V. 40. N. 10. P. 1370–1377).
- Зырянова О. А., Абаимов А. П., Бугаенко Т. Н. Оценка видового разнообразия коренных лиственничных ассоциаций криолитозоны и его послепожарной динамики на основе информационного индекса Шеннона // *Сиб. экол. журн.* 2004. Т. 11. № 5. С. 735–743.
- Исаев А. С., Абаимов А. П., Бузыкин А. И., Ефремов С. П., Назимова Д. И., Петренко Е. С., Семечкин И. В. Лесная биогеоценология – составная часть лесоведения // *Лесоведение.* 2005. № 4. С. 4–11.
- Прокушкин А. С., Гавриленко И. В., Прокушкин С. Г., Абаимов А. П. Поступление растворенного органического углерода в почву лиственничников в условиях сплошной мерзлоты Средней Сибири // *Лесоведение.* 2005. № 5. С. 41–48.
- Масягина О. В., Прокушкин С. Г., Абаимов А. П., Мори Ш., Коике Т. Эмиссия CO₂ с поверхности напочвенного покрова в лиственничниках Центральной Эвенкии // *Лесоведение.* 2005. № 6. С. 19–29.
- Ленкова Т. Л., Зубарева О. Н., Иванов В. В., Абаимов А. П. Особенности возобновления притундровых лесов Таймыра в условиях атмосферного загрязнения // *Лесн. таксация и лесоустройство.* 2005. № 1 (34). С. 169–174.
- Абаимов А. П. Особенности и основные направления динамики лесов и редколесий в мерзлотной зоне Сибири // *Сиб. экол. журн.* 2005. Т. 12. № 4. С. 663–675.
- Prokushkin A. S., Kajimoto T., Prokushkin S. G., McDowell W. N., Abaimov A. P., Matsuura Y. Climatic factors influencing fluxes of dissolved organic carbon from the forest floor in a continuous-permafrost Siberian watershed // *Can. J. For. Res.* 2005. V. 35. N. 9. P. 2130–2140.
- Matsuura Y., Kajimoto T., Osawa A., Abaimov A. P. Carbon storage in larch ecosystems in continuous permafrost region of Siberia // *Phyton.* 2005. V. 45. N. 4. P. 51–54.
- Zyryanova O. A., Yaborov V. T., Abaimov A. P., Koike T., Sasa K., Terazawa M. Problems in the maintenance and sustainable use of forest resources in Priamurye in the Russian Far East // *Euras. J. For. Res.* 2005. V. 8. N. 1. P. 53–64.
- Oreshkova N. V., Larionova A. Ya., Milyutin L. I., Abaimov A. P. Genetic diversity, structure and differentiation of Gmelin larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) populations from Central Evenkia and Eastern Zabaikalie // *Euras. J. For. Res.* 2006. V. 9. N. 1. P. 1–8.
- Прокушкин С. Г., Абаимов А. П., Прокушкин А. С., Масягина О. В. Биомасса напочвенного покрова и подлеска в лиственничных лесах криолитозоны Средней Сибири // *Сиб. экол. журн.* 2006. Т. 13. № 2. С. 131–139.
- Prokushkin A. S., Gavrilenko I. V., Abaimov A. P., Prokushkin S. G., Samusenko A. V. Dissolved organic carbon in upland forested watersheds underlain by continuous permafrost in Central Siberia // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.* 2006. V. 11. N. 1. P. 223–240.
- Kajimoto T., Matsuura Y., Osawa A., Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Isaev A. P., Yefremov 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. N. 1–3. P. 314–325.
- Чихачёва Т. Л., Иванов В. В., Абаимов А. П. Естественное лесовозобновление в низкогорных ландшафтах Норильской котловины // *Вестн. КрасГАУ.* 2006. № 6. С. 204–209.
- Masyagina O. V., Prokushkin S. G., Mori S., Takagi K., Nomura M., Abaimov A. P. CO₂ emissions of the non-tree vegetation cover in larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) stands in the Central Evenkia region of Siberia, Russia // *Euras. J. For. Res.* 2006. V. 9. N. 1. P. 17–28.
- Morishita T., Matsuura Y., Zyryanova O. A., Abaimov A. P. CO₂, CH₄, and N₂O fluxes from a larch forest soil in Central Siberia // *Symptom of Environmental Change in Siberian Permafrost Region.* Japan, Sapporo: Hokkaido Univ. Press, 2006. P. 1–9.
- Prokushkin A. S., Hobara S., Tokareva I. V., Prokushkin S. G., Abaimov A. P. DOC in streams and soils in forested watershed underlain by continuous permafrost: a seasonal pattern // *Symptom of Environmental Change in Siberian Permafrost Region.* Japan, Sapporo: Hokkaido Univ. Press, 2006. P. 113–121.
- Hobara S., Tokuchi N., Kondo K., Prokushkin A. S., Hirobe M., Matsuura Y., Kajimoto T., Akira Osawa A., Abaimov A. P. Soil nitrogen dynamics in a larch forest, Central Siberia: A short review of preliminary results // *Symptom of Environmental Change in Siberian Permafrost Region.* Japan, Sapporo: Hokkaido Univ. Press, 2006. P. 109–111.
- Kajimoto T., Osawa A., Matsuura Y., Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Kondo K., Tokuchi N., Hirobe M. Individual-based measurement and analysis of root system develop-

- ment: case studies for *Larix gmelinii* trees growing on the permafrost region in Siberia // J. For. Res. 2007. V. 12. N. 2. P. 103–112.
- Ленкова Т. Л., Иванов В. В., Абаимов А. П. Оценка качества подроста в притундровых лесах Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 2007. Т. 14. № 2. С. 219–224.
- Kujansuu J., Yasue K., Koike T., Abaimov A. P., Kajimoto T., Takeda T., Tokumoto M., Matsuura Y. Responses of ring widths and maximum densities of *Larix gmelinii* to climate on contrasting north- and south-facing slopes in Central Siberia // Ecol. Res. 2007. V. 22. N. 4. P. 582–592.
- Kujansuu J., Yasue K., Koike T., Abaimov A. P., Kajimoto T., Takeda T., Tokumoto M., Matsuura Y. Climatic responses of tree-ring widths of *Larix gmelinii* on contrasting north-facing and south-facing slopes in Central Siberia // J. Wood Sci. 2007. V. 53. N. 2. P. 87–93.
- Зырянова О. А., Абаимов А. П., Чихачёва Т. Л. Влияние пожаров на лесообразовательный процесс в лиственничных лесах Севера Сибири // Лесоведение. 2008. № 1. С. 3–10.
- Прокушкин С. Г., Абаимов А. П. Толерантность лиственницы Гмелина к гипотермии // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25. № 3–4. С. 196–202.
- Nakai Y., Matsuura Y., Kajimoto T., Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Yamamoto S. Eddy covariance CO₂ flux above a Gmelin larch forest on continuous permafrost in Central Siberia during a growing season // Theor. Appl. Climatol. 2008. V. 93. N. 3–4. С. 133–147.
- Прокушкин А. С., Токарева И. В., Прокушкин С. Г., Абаимов А. П., Гуггенбергер Г. Потоки растворенного органического вещества в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Экология. 2008. № 3. С. 163–172.
- Prokushkin A. S., Tokareva I. V., Prokushkin S. G., Abaimov A. P., Guggenberger H. Fluxes of dissolved organic matter in larch forests in the cryolithozone of central Siberia // Rus. J. Ecol. 2008. V. 39. Iss. 3. P. 151–159 (Original Russian Text © A. S. Prokushkin, I. V. Tokareva, S. G. Prokushkin, A. P. Abaimov, H. Guggenberger, 2008, publ. in Ekologiya. 2008. N. 3. P. 163–172).
- Прокушкин С. Г., Садилова М. Ю., Каверзина Л. Н., Абаимов А. П. Фракционный состав белков в семенах лиственниц Гмелина и сибирской // Лесоведение. 2009. № 1. С. 33–41.
- Mori S., Yamaji K., Ishida A., Prokushkin S. G., Masyagina O. V., Hagihara A., Hoque A. R., 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. N. 4. P. 1447–1451.
- Прокушкин С. Г., Бугаенко Т. Н., Зырянова О. А., Абаимов А. П. Влияние лиственницы Гмелина допожарной генерации на восстановление фитоценоза // Хвойные бореал. зоны. 2011. Т. 29. № 3–4. С. 252–257.
- Шишкин А. С., Абаимов А. П., Онучин А. А. Методология и принципы организации исследований природных экосистем в регионах с экстремальным техногенным воздействием // Сиб. экол. журн. 2014. Т. 21. № 6. С. 863–871.

Диссертации, защищенные под руководством А. П. Абаимова

- Иванов Андрей Валерьевич. Газо-аэрозольные эмиссии при лесных низовых пожарах (на примере сосняков лишайниково-зеленомошных Сымской равнины): дис. ... канд. биол. наук. 03.00.16 – Экология. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2003. 154 с.
- Яхнева Наталья Викторовна. Генетико-таксономический анализ популяций лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 – Ботаника. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2004. 157 с.
- Орешков Дмитрий Николаевич. Комплекс мелких млекопитающих как показатель нарушенности лесных экосистем Средней Сибири: дис. ... канд. биол. наук. 03.00.16 – Экология. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 132 с.
- Иванов Валерий Александрович. Методологические основы классификации лесов Средней Сибири по степени пожарной опасности от гроз: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03 – Лесоведение и лесоводство; лесные пожары и борьба с ними. Красноярск: СибГТУ, 2006. 349 с.
- Софронова Татьяна Марковна. Разработка мер по совершенствованию оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16 – Экология. Красноярск: СибГТУ, 2006. 252 с.
- Чихачева Татьяна Леонидовна. Оценка естественного возобновления в притундровых лесах Красноярского края в условиях техногенного загрязнения: дис. ... канд. биол. наук. 03.00.16 – Экология; 06.03.03 – Лесоведение и лесоводство; лесные пожары и борьба с ними. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 185 с.

A. P. ABAIMOV AND HIS SCIENTIFIC HERITAGE (CELEBRATING 75TH BIRTHDAY, 18.08.1947–14.07.2006)

O. A. Zyryanova, E. N. Muratova, A. I. Bondarev

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, elena-muratova@ksc.krasn.ru, abondarev@ksc.krasn.ru

The article analyzes the scientific achievements and heritage of Anatoly Platonovich Abaimov, a well-known dendrologist and forester, who have made a great contribution to the study of larch *Larix* Mill. species in Siberia and the Far East, larch forests in the permafrost zone, as well as the features and patterns of the forest formation process in them. Anatoly P. Abaimov has substantiated the quantitative and qualitative morphological signs to distinguish larches Gmelin (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) and Cajander (*L. cajanderi* Mayr), described their ecological specialization and clinal geographical variability of morphological features, proved an introgressive hybridization between these larch species. He characterized in detail the forestry and taxation specificity, ecological functions and dynamics of Siberian larch formations under the influence of natural and anthropogenic factors. Anatoly P. Abaimov has marked the beginning of long-term Russian-Japanese cooperation in the field of assessing the global role of the permafrost forest ecosystems in the emission and absorption of greenhouse gases. The public and pedagogical activity of Anatoly P. Abaimov is characterized. A list of scientific papers and a list of dissertations defended under his supervision are given.

Keywords: *Gmelin and Cajander larch species, systematic, geography, variability, ecologic features, forest formation process, cryolithic zone of Siberia.*

How to cite: Zyryanova O. A., Muratova E. N., Bondarev A. I. A. P. Abaimov and his scientific heritage (Celebrating 75th birthday, 18.08.1947 – 14.07.2006) // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 5. P. 70–81 (in Russian with English abstract and references).

CONTENTS

RESEARCH ARTICLES

<i>S. P. Efremov, T. T. Efremova, A. V. Pimenov, T. S. Sedel'nikova</i> Phytocenotic and Inventory Indication of Bog Pine Forests in the Ob'-Tom' Interfluve	3
<i>M. G. Erunova, A. A. Knorre</i> The Wild Fire Retrospective Analysis in the National Park «Krasnoyarsk Stolby»	22
<i>O. E. Kryuchkova</i> Macromycetes of Birch Forests of Krasnoyarsk City under Recreational Load	34
<i>M. A. Kirienko, I. A. Goncharova</i> Inventory of Arboriflora at Krasnoyarsk Central Park	46
<i>O. A. Shapchenkova, S. R. Loskutov, M. A. Plyashechnik, Z. Pásztor</i> Thermal Analysis and Pyrolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry of Fossil Wood from of Bükkábrány, Hungary	56

SCIENTIFIC HERITAGE

<i>O. A. Zyryanova, E. N. Muratova, A. I. Bondarev</i> A. P. Abaimov and his Scientific Heritage (Celebrating 75th Birthday, 18.08.1947–14.07.2006)	70
--	----

* IN MEMORIAM

<i>* S. P. Efremov</i> Strokes of Memory of the Siberian Scientist in the field of General and Permafrost Forest Science A. P. Abaimov (in the Ornament of the Landscapes of Taimyr and Some Events)	
--	--

* JUBILEE

<i>* S. G. Glushko, N. B. Prokhorenko, N. V. Terekhina</i> Tat'yana Alexandrovna Komarova (Celebrating 80th Birthday)	
--	--

* Article is published in online edition.

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

<i>С. П. Ефремов, Т. Т. Ефремова, А. В. Пименов, Т. С. Седельникова</i> Фитоценоотическая и таксационная индикация болотных сосняков междуречья Оби и Томи	3
<i>М. Г. Ерунова, А. А. Кнорре</i> Ретроспективный анализ лесных пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы»	22
<i>О. Е. Крючкова</i> Макромицеты березовых лесов города Красноярск в условиях рекреационной нагрузки	34
<i>М. А. Кириенко, И. А. Гончарова</i> Инвентаризация арборифлоры Центрального парка города Красноярск	46
<i>О. А. Shapchenkova, S. R. Loskutov, M. A. Plyashechnik, Z. Pásztor</i> Thermal analysis and pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry of fossil wood from of Bükkábrány, Hungary	56

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ

<i>О. А. Зырянова, Е. Н. Муратова, А. И. Бондарев</i> А. П. Абаймов и его научное наследие (к 75-летию со дня рождения, 18.08.1947 – 14.07.2006)	70
---	----

* ПАМЯТИ УЧЕНОГО

<i>* С. П. Ефремов</i> Штрихи воспоминаний о сибирском ученом в области общего и мерзлотного лесоведения А. П. Абаймове (в орнаменте ландшафтов Таймыра и некоторых событий)	
--	--

* ЮБИЛЕЙ

<i>* С. Г. Глушко, Н. Б. Прохоренко, Н. В. Терёхина</i> Татьяна Александровна Комарова (к 80-летию со дня рождения)	
--	--

* Статья публикуется в сетевом издании.