



## ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ: РИСКИ И РЕШЕНИЯ

ОХРАНА ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ

ЗАЩИТА ЛЕСА

ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ И СЕЛЕКЦИЯ

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ  
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ  
ЭКОСИСТЕМ

ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ЛЕСОВ

наука — 

И ТЕХНОЛОГИИ

Сибири

**НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ СИБИРИ**

Выпуск 13 — Лесные ресурсы: риски и решения.

Июль 2024 г.

**Учредитель:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Сибирское отделение Российской академии наук».  
630090, Россия, Новосибирск,  
проспект Академика Лаврентьева, дом 17.

**Издатель:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Сибирское отделение Российской академии наук».  
630090, Россия, Новосибирск,  
проспект Академика Лаврентьева, дом 17.

**Главный редактор:**

академик РАН Валентин Николаевич Пармон.

**Редакционный совет:**

Академики РАН С.В. Алексеенко, И.В. Бычков, М.И. Воевода,  
А.П. Деревянко, Н.А. Колчанов, Д.М. Маркович, В.И. Молодин,  
В.М. Фомин, д.ф.- м.н. С.Р. Сверчков, генеральный директор  
ООО «Газпром трансгаз Томск» В.И. Бородин, генеральный директор  
АО «Академпарк» Д.Б. Верховод, заместитель полномочного  
представителя Президента РФ в СФО В.М. Головкин, д.т.н., президент  
НГТУ НЭТИ, председатель Совета ректоров СФО Н.В. Пустовой,  
основатель АФК «Система» В.П. Евтушенков .

**Редакционная группа:**

Заместитель главного редактора Сергей Сверчков, Лариса Деева,  
Владимир Ларин, Андрей Соболевский, Любовь Батраева,  
Юлия Андреева.

**Фото**

авторов представленных материалов и из открытых источников.

**Дизайн:**

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет  
архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова»,  
ректор Багрова Наталья, арт-директор Чешева Татьяна,  
дизайнер Теряева Анна

**Свидетельство о регистрации** СМИ ПИ № ФС 77-82311

от 03.12. 2021 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере  
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор).

Адрес редакции: 630090, Россия, Новосибирск,  
проспект Лаврентьева, 17, тел.: (383) 217-45-78,  
e-mail: l.batraeva@sb-ras.ru

Отпечатано ИП Сергеев Сергей Сергеевич

тел.: +7 (920) 451-77-32,

e-mail: 89204517732@mail.ru

Подписано в печать 15.07.2024

Бумага мелованная. Печать офсетная.

Тираж 800 экз. Свободная цена.

Перепечатка материалов только с письменного разрешения редакции.

Изданию присвоен номер ISSN: 2782-4969

© Сибирское отделение РАН, 2024



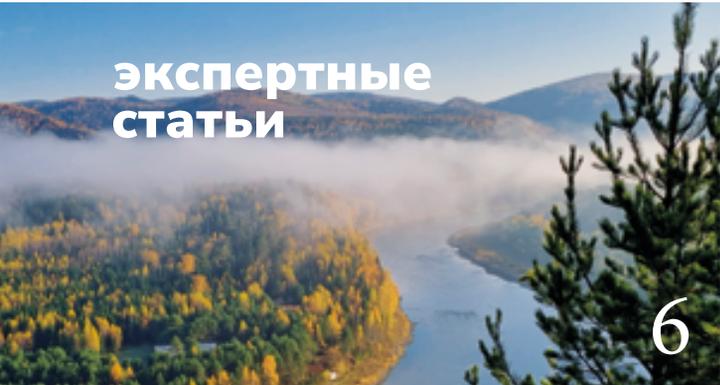
**ОФОРМИТЬ  
ПОДПИСКУ  
НА ЖУРНАЛ**





## обращение главного редактора

4



## экспертные статьи

6



## охрана лесов от пожара

20



## защита леса

42

# В номере

**стр. 4** Обращение главного редактора  
академика В. Н. Пармона

**стр. 6** Парадигма устойчивого управления лесами:  
Баланс ресурсных и экосистемных функций

**стр. 14** Климатические рубежи меняют гидрологический  
статус лесов

**стр. 22** Усовершенствованная технология мониторинга  
интенсивности пожаров растительности и оценки  
пожарных эмиссий дистанционными средствами

**стр. 25** Технология составления карт растительных  
горючих материалов (карт РГМ)

**стр. 31** Краткий справочник эколого-географических  
и лесопирологических особенностей лесных районов

**стр. 35** Технология снижения пожароопасности вырубок  
путем контролируемых выжиганий

**стр. 39** База данных по мировой пилотируемой  
пожарной авиации

**стр. 44** Технология проведения профилактических  
мероприятий по защите лесов от сибирского шелкопряда

**стр. 47** Методы и инструменты государственного  
лесопатологического мониторинга

**стр. 54** Лесопатологический мониторинг  
в Байкальском регионе: проблемы и пути решения

**стр. 57** Основы технологии защиты сосновых культур  
от восточного майского хруща



## лесные культуры и селекции

64

**стр. 66** Уточнение лесосеменного районирования сосны обыкновенной на территории Средней и частично Восточной Сибири

**стр. 71** Применение методов дистанционного зондирования земли для мониторинга лесных селекционно-семеноводческих объектов

**стр. 80** Ускорение лесной селекции как метод интенсификации лесного хозяйства России

**стр. 88** Посадочный материал хвойных пород

**стр. 90** Коллекция эмбриогенных культур лиственницы: состояние и применение для плантационного лесовыращивания



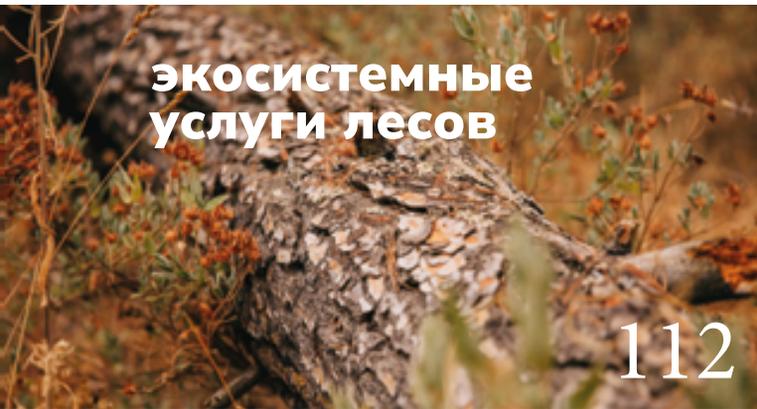
## мониторинг состояния и функционирования лесных экосистем

94

**стр. 96** Эколого-климатические станции мониторинга потоков климатически активных веществ в рамках реализации государственных программ «Карбоновые полигоны» и «Ритм углерода»

**стр. 102** Мониторинг техногенно-нарушенных земель на основе анализа динамики тепловых аномалий поверхности

**стр. 107** Мобильная обсерватория для маршрутного мониторинга баланса диоксида углерода в наземных экосистемах Приенисейской Сибири



## экосистемные услуги лесов

112

**стр. 114** Разработка лесохозяйственных и экосистемных мероприятий по повышению средозащитных функций водоохранных лесов Иркутской области на основе комплексной лесоводственно-экологической оценки

## Дорогие друзья!

Проезжая по бесконечным сибирским дорогам, мы замечаем по краям транспаранты: «Лес — наше богатство», «Берегите лес (от огня)» и тому подобное. Незамысловато, но верно по сути. Россия — страна с лучшими на планете лесными запасами. И по площади лесов — около 755 млн. гектар, и по производству товарной древесины, и по другим показателям мы держим первое место в мире с большим отрывом от других держав. А львиная доля наших лесных ресурсов приходится на Сибирь в ее географическом понимании, от Урала до Охотского моря.

Однако состояние лесов России и отношение к ним соответствует, увы, народной поговорке «Что имеем, не храним, потеряем — плачем». Ежегодно пожарами охвачено от 4 до 10 миллионов гектаров лесов. Из них 2–3 миллиона безвозвратно погибает. Это в два раза больше, чем все рубки, включая незаконные. Меньшее, но столь же значительное количество леса поражается вредителями и болезнями. Лесозаготовки зачастую ведутся примитивно: на делянках остаются тонны отходов, которые загрязняют лес и служат причиной новых пожаров и болезней. Древесина в основном используется на первых переделах: для производства доски, бруса и подобной продукции, часть которой идет на экспорт.

Между тем сибирскими учеными уже сегодня предлагается множество методик и технологий лесозащиты и лесовоспроизводства, выпуска современных и высокомаржинальных продуктов из древесины и ее отходов — лекарств, биодобавок, удобрений, строительных и промышленных материалов, многого другого. Поэтому

вы держите в руках номер нашего издания, озаглавленный «Лесные ресурсы. Риски и решения». Он сам подобен русскому лесу: во-первых, столь же обширен. По запросу редакционной группы поступило свыше 30 статей, и ни одна не была отклонена экспертизой. Поэтому было принято решение разбить выпуск на два номера.

Во-вторых, этот номер, как и наши леса, отличается широким разнообразием. Здесь вы встретите материалы исследователей, относящихся к более, чем десятку научных направлений. Часть публикаций носит очевидно прикладной характер, вплоть до патентов, нау-хау и пилотных технологических установок. Ряд других статей выдержан в более описательном, отчасти теоретическом плане. Но наука неделима, это не «волшебная кнопка», моментально выдающая на-гора новейшие технологии, а сложная система, в которой ценен каждый элемент. В целом же идеология номера отражена в заголовке экспертной статьи директора красноярского Института леса и древесины им.В.Н. Сукачева СО РАН доктора биологических наук Александра Александровича Онучина — «Парадигма устойчивого управления лесами: баланс ресурсных и экосистемных функций». Мы рассматриваем лес и как источник ценнейших ресурсов, и как живой организм, изменчивый и уязвимый.

Всем читателям этого номера, желаю профессиональных достижений и личного счастья, мира, здоровья и благополучия!

И, конечно же, бережного отношения к лесу!



**С уважением,  
академик РАН Валентин Пармон**

главный редактор издания  
«Наука и технологии Сибири»,  
председатель Сибирского отделения РАН,  
вице-президент РАН

*С искренним уважением,  
В.П.*

# ПАРАДИГМА УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСАМИ: БАЛАНС РЕСУРСНЫХ И ЭКОСИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ



**Онучин  
Александр Александрович**

доктор биологических наук,  
профессор, директор ИЛ ФИЦ  
КНЦ СО РАН



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения  
Российской академии наук -  
обособленное подразделение  
ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28

**Леса являются важнейшими и наиболее распространенными природными экосистемами суши на планете Земля, они выполняют целый комплекс биосферных, социальных и ресурсных функций, что требует особого к ним отношения, обеспечивающего их охрану, защиту рациональное использование и воспроизводство.**

Одной из характерных особенностей лесных экосистем является способность оказывать трансграничное влияние на состояние природной среды в районах, расположенных далеко за пределами произрастания самих лесов. Это касается состава атмосферного воздуха, влияющего на парниковый эффект, гидрологического режима, динамики и качества речного стока. В то же время леса являются источником ресурсов, от которых во многом зависит состояние экономики лесных регионов, местом проживания коренных и малочисленных народов, а также экосистемами, характеризующимися высоким уровнем биологического разнообразия.

Учитывая многофункциональную роль лесных экосистем, а также тот факт, что один вид пользования лесными ресурсами может входить в противоречие с другими видами лесопользования, становится очевидным необхо-

димость разработки соответствующих правил пользования лесами, которые обеспечивали бы рациональное лесопользование на ближайшую и отдаленную перспективу. Такая задача может решаться в рамках парадигмы устойчивого управления лесами, которая должна опираться на ряд концепций и моделей, адаптированных к региональным и локальным условиям с учетом интересов всех субъектов лесных отношений, включая пользователей экосистемных услуг, предоставляемых лесами независимо от региональной и государственной принадлежности таковых.

Реализацию системы устойчивого управления лесами следует начать с зонирования лесного фонда страны, обеспечив его пространственное разграничение на основные категории лесов различного целевого назначения. Такие категории должны выделяться для эксплуатацион-



**Рис. 1.** Пойма р. Подкаменная Тунгуска

ных лесов, включая леса интенсивной и экстенсивной модели ведения лесного хозяйства, которые по возможности должны сосредотачиваться на ранее освоенных территориях; защитные леса различных категорий, включая климаторегулирующие; категорию резервных лесов, недоступных в настоящее время для промышленного освоения. Очевидно, что резервные леса, до тех пор, пока не станут доступными, следует рассматривать как климаторегулирующие и включать их в международную климатическую повестку [1, 2]. Такое ранжирование лесов позволит избежать скрытого переруба расчетной лесосеки, когда в нее включаются леса, которые фактически являются транспортно и экологически недоступными. Таким образом, будет обеспечено соблюдение принципа постоянства лесопользования.

Серьезной проблемой на пути реализации системы устойчивого управления лесами является нехватка достоверной актуальной информации о лесах. Давность лесоустройства на значительных площадях лесного фонда в ряде лес-

ных регионов составляет 20 и более лет. За это время могут произойти существенные изменения в лесном фонде, включая полую гибель лесов вследствие пожаров и повреждения древостоев вредителями и болезнями. Отсутствие достоверной информации о лесах не позволяет планировать и реализовать лесохозяйственные мероприятия, направленные на эффективное экологически и экономически рациональное пользование дарами леса, сохранение и воспроизводство лесов.

Несмотря на нехватку достоверной информации, в ряде лесных регионов Сибири отмечаются негативные изменения в структуре лесного фонда, которые выражаются в сокращении доли наиболее ценных спелых и перестойных хвойных лесов и увеличении доли молодняков и лиственных древостоев при сохранении общей лесопокрытой площади. За последние полвека в России доля площадей, занятых наиболее ценными насаждениями, сократилась в 1.4 раза, при этом восполнение вырубаемых запасов спелыми и перестойными насаждениями



**Рис. 2.** Способность сосны к произрастанию в экстремальных лесорастительных условиях



**Рис. 3.** Кедровый стланик, произрастающий в альпийском поясе на северо-востоке Республики Бурятия

происходит только на одну треть [3]. Такие негативные изменения структуры лесного фонда явились следствием доминирования модели экстенсивного использования и воспроизводства лесов, основанной на вырубке лесов пионерного освоения и лесов, выращенных без существенных затрат овеществленного в них труда. Следует ожидать, что эта тенденция будет продолжаться, несмотря на сокращение экспортных поставок лесной продукции в отдельные страны, которое будет компенсироваться их ростом в Китай и страны ближнего зарубежья, а также ростом ее потребления на внутреннем рынке.

Одним из основных рисков развития лесного комплекса является переоценка лесосырьевых ресурсов, которая особенно недопустима при развитии лесопромышленных комплексов долгосрочного действия. Такая переоценка обусловлена несовершенством действующего порядка исчисления расчетных лесосек [3], а их полное использование приводит к быстрому сокращению доступных лесных ресурсов [4].

В последние десятилетия проблема нехватки древесных ресурсов усугубляется последствиями глобальных климатических изменений, которые выражаются как в усилении горимости лесов, так и в возрастании ущерба от вредителей и болезней леса. Все это создает реальную угрозу истощения лесных ресурсов в уже обозримой перспективе в регионах, традиционно являющихся основными источниками высококачественной древесины для обеспечения как внутренних потребностей страны, так и экспортных поставок продукции лесного комплекса.

Арендаторы лесов, по сути, не являются экономически заинтересованными в эффективном лесопользовании на принципах устойчивого управления лесами и лесовосстановлении, поскольку основным критерием успешности восстановления лесов является объем созданных лесных культур взамен вырубленных древостоев. Такой критерий оценки успешности лесовосстановления далек от совершенства, поскольку часть созданных лесных культур гибнет задолго до достижения возраста спелости. Кроме вырубленных участков леса, эффективного восстановления требуют площади лесного фонда, пройденные пожарами и поврежденные вредителями и болезнями леса. Основным критерием успешности лесовосстановления следует рассматривать соотношение площадей (запасов) вырубленных спелых и перестойных товарных насаждений и площадей (запасов) приспевающих насаждений перешедших за отчетный период в категорию спелых и перестойных. Такой подход в полной мере будет отвечать соблюдению принципов устойчивого управления лесами. Разумеется, в настоящее время практически невозможно обеспечить полное соблюдение этого принципа на большей части арендованных лесов, где доминирует модель экстенсивного использования. В данный момент в лесах пионерного освоения невелика доля приспевающих насаждений, однако в целях постепенного перехода к системе устойчивого управления лесами такой критерий с определенным весом должен учитываться в оценках успешности восстановления лесов.

Переходу к системе устойчивого управления лесами и решению проблемы негативных изменений лесного фонда, грозящих усилением дефицита качественных лесных ресурсов, может способствовать широкое использование модели интенсивного использования и воспроизводства лесов. Эта модель должна реализоваться в лучших лесорастительных условиях, где даже в Сибири при должном уходе за лесом может обеспечивать ежегодный прирост не менее 10 м<sup>3</sup>/га, что в разы выше, чем в среднем по региону (1.4 м<sup>3</sup>/га). По экспертным оценкам, доля лесов интенсивной формы ведения хозяйства в Сибири составляет 10–15% от площади лесного фонда, в которых можно заготавливать от 45 до 60% от общего объема потребной лесной продукции [3]. Решению задач интенсификации лесного хозяйства, повышению продуктивности древостоев и сокращению сроков выращивания товарной древесины будет способствовать развитие исследований в области лесной генетики и селекции, практическая отдача от которых будет наиболее ощутимой в лучших лесорастительных условиях [5, 6]. Очевидно, что именно в условиях реализации интенсивной модели следует расширять сеть лесных питомников, в том числе с выращиванием посадочного материала с закрытой корневой системой. Модель интенсивного использования и воспроизводства лесов может эффективно применяться не только в целях ускоренного выращивания древесины, но и для формирования карбоновых ферм. Такие фермы формируются с целью усиления поглощения парниковых газов лесными экосистемами, посредством соответствующих лесохозяйственных мероприятий обеспечивающих максимальный прирост древостоев и соответственно поглощение атмосферного CO<sub>2</sub> [7, 8].

Интенсификация лесного комплекса должна подразумевать развитие технологий по глубокой переработке низкотоварной древесины и отходов лесопиления, которые в общих объемах заготавливаемой древесины составляют значительную часть. Получение товарной продукции из низкосортной древесины позволит сократить вырубку лесов пионерного освоения выполняющих важнейшие биосферные функции, являющихся местом обитания редких и исчезающих видов растений и животных, а также отличающихся высоким уровнем биологического разнообразия.

В условиях возрастающей обеспокоенности общества климатическими изменениями все большее внимание уделяется климаторегулирующей

функции лесов, в том числе гидрологическим функциям леса, и это требует адекватного совершенства законодательной базы, которая должна обеспечивать экономические рычаги для поддержания баланса интересов ресурсной и экосистемной составляющими в лесном секторе. При этом включение категории климаторегулирующих лесов в международную климатическую повестку обеспечит защиту национальных интересов России [2].

Согласно выводам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, причиной глобального потепления является беспрецедентное увеличение в атмосфере концентрации парниковых газов, вызванное антропогенной деятельностью [9]. Одним из способов достижения углеродной нейтральности, наряду с сокращением выбросов парниковых газов, рассматривается возможность использования углероддепонирующего потенциала природных экосистем, в том числе лесов. Такой потенциал может быть реализован путем лесоразведения, охраны лесов от пожаров, защиты от вредителей и болезней, а также за счет усиления их углероддепонирующих способностей посредством лесохозяйственных мероприятий, в первую очередь посредством формирования так называемых карбоновых ферм.

В оценке гидрологической роли лесов бесспорным является их способность обеспечивать высокое качество воды в водоемах и водотоках, предотвращать развитие эрозионных процессов, сглаживать пики паводков. Одним из наиболее дискуссионных вопросов климаторегулирующей функции лесов является оценка их влияния на структуру водного баланса. В частности это касается способности лесов обеспечивать дополнительное выпадение осадков над ними по сравнению с безлесными территориями. Эта дискуссия имеет давнюю историю, и в свое время сторонники концепции всеобщей увлажняющей роли лесов утверждали, что лес обладает способностью притягивать осадки, и поэтому над лесами выпадает осадков больше, чем над безлесными территориями. Противники этой концепции утверждали, что над лесом выпадает больше осадков не потому, что там растут леса, а просто леса растут там, где выпадает больше осадков [10, 11]. В последнее время сторонники позитивного влияния лесов на выпадение осадков пытаются обосновать свою точку зрения посредством наличия биотической регуляции, которая проявляется в континентальном масштабе. Она заключается в том, что кон-

денсация водяного пара над лесами вследствие транспирации приводит к образованию градиентов давления, способствующих переносу атмосферной влаги с океана на сушу [12, 13].

Безусловно, биотическая регуляция баланса влаги имеет место в природе, и возможно, что леса на планете не просто растут там, где подходящие лесорастительные условия, но они и сами их формируют. Наглядный пример средообразующей роли лесов – полезащитные полосы. Однако чтобы утверждать наверняка состоятельность теории биотического насоса необходимо не только предложить концепцию биотической регуляции, но и подтвердить ее экспериментальными данными. При всем этом в России, по мнению самих авторов концепции биотического насоса, подобных экспериментальных исследований не проводилось [2]. В этой связи требуется в масштабе всей страны организовать гидрологические исследования с учетом долгосрочной истории антропогенного воздействия на лесные экосистемы. Следует отметить, что подобные исследования можно организовать и в других странах. Например, известно, что лесистость отдельных регионов Китая за последние десятилетия возросла кратно, и было бы целесообразно посмотреть, что там произошло с количеством атмосферных осадков. Учитывая то важнейшее значение, которое придается лесам в части регуляции биосферных процессов, необходимо попытаться проверить экспериментально состоятельность этой теории и наверняка убедиться в ее справедливости, доказав это посредством данных, а не только опираясь на основополагающие принципы.

Особое место в системе лесного хозяйства России отводится лесным пожарам, которые наносят не только колоссальный ущерб лесному фонду. От природных пожаров страдают населенные пункты, расположенные в лесной зоне, а токсичные аэрозоли, содержащиеся в дымовых шлейфах, переносятся на тысячи километров от очагов возгорания, создавая экологические проблемы и нанося ущерб здоровью граждан.

Наряду с развитием технических средств пожаротушения положительный эффект в решении этой проблемы могут оказать научные разработки, связанные с оценкой природной и антропогенной пожарной опасности лесных земель противопожарным обустройством лесов и населенных пунктов лесной зоны. Особое значение в этой связи должно уделяться разработке





систем прогноза возникновения и развития лесных пожаров, которые способны оптимизировать борьбу с ними, кратко сократив потенциальный ущерб от огненной стихии [14, 15]. В этой части требуется координация усилий научных учреждений, обладающих квалифицированными специалистами, и профильных министерств с целью практической апробации результатов НИР, их адаптации к местным условиям, а также обучения специалистов на местах технологиям использования результатов НИР.

В условиях глобальных климатических изменений обостряется вероятность возникновения и развития вспышек массового размножения насекомых-вредителей и болезней леса, которые наносят ощутимый ущерб лесному фонду страны, способствуя также усилению пожароопасности. Результаты НИР, связанные с прогнозом изменения лесопатологической ситуации, совершенствованием методов борьбы с вредителями и болезнями леса наряду с организацией мониторинга, могут сократить затраты на ликвидацию негативных последствий, а также предотвратить катастрофические поражения лесного фонда.

Важным условием устойчивого развития лесной отрасли является наличие соответствующей законодательной базы, отвечающей интересам всех субъектов лесных отношений, включая бизнес, лесную науку и органы власти, которые должны скоординировано действовать в интересах общего дела, обеспечивая рациональное и неистощительное пользование лесами. Органы власти обязаны создавать условия поддержки представителям добросовестного бизнеса, которые введут дело на научной основе, используя передовые разработки и технологии. В то же время органы власти должны ставить перед наукой масштабные задачи, решение которых позволит вывести лесную отрасль на уровень, соответствующий самым высоким стандартам. Разумеется, решение указанных задач невозможно без соответствующей подготовки кадров в лесном хозяйстве.

По мнению ряда специалистов действующий Лесной кодекс, несмотря на множество поправок, остается документом, не способствующим комплексному развитию лесного хозяйства. Действующее лесное законодательство построено в первую очередь в угоду рыночным отношениям и эффективному развитию лесной промышленности. Очевидно,

что Лесной кодекс Российской Федерации потребовал полного реформирования лесного хозяйства и способствовал разрушению централизованной структуры управления лесным хозяйством и формированию лесного бизнеса, представленного арендаторами, часто не способными и не заинтересованными работать на долгосрочную перспективу.

Со времени принятия нового Лесного кодекса неслучайно наметилась тенденция сокращения числа опытных специалистов в лесном секторе и замена их кадрами, не обладающими должным опытом работы и квалификацией. Эта тенденция обернулась дискредитацией лесохозяйственных мероприятий и способствовала криминализации лесной отрасли с заведением громких уголовных дел, в том числе на высокопоставленных чиновников, связанных с лесным сектором экономики.

Действующий Лесной кодекс признает лес в первую очередь сырьевым ресурсом и слабо ориентирует субъекты лесных отношений на парадигму устойчивого управления лесами, обеспечивающую выполнение лесом всего комплекса экосистемных услуг и сохранения биологического разнообразия. Эти принципы должны лежать в основе государственного управления лесами по всей вертикали, от арендатора и лесничего до всех специалистов региональных и федеральных структур, имеющих отношение к лесам. Особую роль следует в этой связи отвести лесной науке в решении прикладных задач, способствующих развитию лесной отрасли, а также университетам в деле подготовки квалифицированных специалистов-лесоводов.

Необходимо создание опытных хозяйств, в которых должны отрабатываться совершенные технологии выращивания, защиты и охраны лесов, адаптированные к местным лесорастительным условиям, а также учитывающие развитие технических средств, применяемых в лесном комплексе. Такие опытные хозяйства должны служить эталонами лесохозяйственной деятельности, в которых бизнес может наблюдать опыт, который будет использован в промышленных масштабах. К сожалению, таких опытных хозяйств практически нет ни в одном крупном лесном регионе. Необходимо сказать, что действующее законодательство не только не стимулирует, но и ограничивает функционирование таких хозяйств, поскольку до сих пор не урегулирован вопрос порядка оборота древесины, образующейся в процессе выполнения НИР на землях лесного фонда, переданных в постоянное бессрочное пользование для научных и образовательных целей.



**Рис. 4.** Лесной питомник. Сеянцы сосны



**Рис. 5.** Адаптация лиственницы к произрастанию в жестких климатических условиях (гора Большой Хаптон 2200 м. н.у.м.) на северо-востоке Республики Бурятия

## Литература

1. Онучин А. А. Стратегические задачи перехода к устойчивому управлению лесами в Сибири // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски. Материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых, Красноярск 26-31 августа 2019 г. Красноярск, С. 307-310.
2. Макарьева А. М., Нефедов А. В., Морозов В. Е., Алейников А. А., Васильев Р. Г. Наука в авангарде переосмысления роли лесов в третьем тысячелетии: комментарии к проекту концепции Федерального закона «Лесной кодекс Российской Федерации» // Вопросы лесной науки, Т. 3. № 3. 2020 Выпуск: «Лесная политика и лесное законодательство РФ». DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-3-1-25
3. Онучин А. А., Соколов В. А., Рыбаков Г. К вопросу эффективного использования и воспроизводства лесов России // Pulp & Paper Industry. 2018. № 1/5. С. 6-10
4. Соколов В. А., Лалетин А. А., Втюрина О. П. Оценка древесных ресурсов Красноярского края / отв. ред. С. К. Фарбер; Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. – Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 129 с.
5. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 198 с.
6. Тараканов В. В., Паленова М. М., Паркина О. В., Роговцев Р. В., Третьякова Р. А. Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор) // Лесохозяйственная информация. 2021. No 1. С. 100-143.
7. Онучин А. А., Данилин И. М. Способ формирования карбоновых ферм // Патент на изобретение № 2807337
8. Онучин А. А., Данилин И. М. Способы формирования лесных карбоновых ферм в целях достижения углеродной нейтральности Тезисы докладов Международной конференции: Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Климат- 2023. Москва, Россия 9-13 октября 2023 года. Москва Физматкнига. С. 214.
9. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA. 2022. 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
10. Лал Г. У. Возможности увеличения полного стока посредством лесохозяйственных мероприятий // Доклады иностранных ученых на международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду. Т. 2. – М., 1970. – С. 80-99
11. Лейтон Л., Родда Дж. К. Леса и осадки. // Доклады иностранных ученых на международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду. М. 1970. С. 3-20.
12. Makarieva A. M., Gorshkov V. G., Sheil D., Nobre A. D., Bunyard P., Li B.-L. Why does air passage over forest yield more rain? Examining the coupling between rainfall, pressure, and atmospheric moisture content // Journal of Hydrometeorology. 2014. Vol. 15. Iss. 1. P. 411-426. URL: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0190.1>
13. Poveda G., Jaramillo L., Vallejo L. F. Seasonal precipitation patterns along pathways of South American low-level jets and aerial rivers // Water Resources Research. 2014. Vol. 50. Iss. 1. P. 98-118. URL: <https://doi.org/10.1002/2013WR014087>
14. Волокитина А. В., Софронов М. А., Корец М. А., Софронова Т. М., Михайлова И. А. Прогноз поведения лесных пожаров. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2010. – 211 с.
15. Корец М. А., Волокитина А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: «Программа для прогноза распространения низового пожара». – № 2015661771 от 09 ноября 2015 г.

# КЛИМАТИЧЕСКИЕ РУБЕЖИ МЕНЯЮТ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС ЛЕСОВ



**Онучин  
Александр Александрович**

доктор биологических наук,  
профессор, директор ИЛ ФИЦ  
КНЦ СО РАН



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения  
Российской академии наук -  
обособленное подразделение  
ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28

**Определены климатические рубежи, при которых лес меняет свой гидрологический статус и из испарителя влаги превращается в источник формирования стока рек.**

Общепризнанным считается положительное влияние лесов на качество воды, снижение поверхностного стока и сглаживание пиков паводков, тогда как в отношении влияния лесов на водность рек такого единодушия не существует. Сторонники концепции всеобщей увлажняющей роли лесов аргументируют свои утверждения тем, что сток с лесных водосборов больше, поскольку леса в силу шероховатости поверхности способствуют возникновению восходящих потоков воздушных масс и конденсации атмосферной влаги в верхних слоях атмосферы приводит к увеличению осадков. Их оппоненты утверждают, что лес снижает объем стока, поскольку способствует интенсивному испарению выпадающих на землю атмосферных осадков, как за счет перехвата их пологом, так и за счет транспирации, используя влагу нижних почвенных горизонтов (1).

Попытки вывести из тупика спор участников дискуссии о гидрологической роли лесов еще в начале двадцатого века были предприняты Георгием Николаевичем Высоцким, провоз-

гласившим тезис: лес сушит равнины и увлажняет горы (2, 5). Однако ряд исследователей усомнились в выводах Г. Н. Высоцкого, считая, что он не учел геологические и гидрогеологические условия участков. Позднее он и сам признавал: «Что же касается леса, то его роль до сих пор вообще не вполне общепризнана» (5). Таким образом, ученый отметил неоднозначное влияние лесов на сток рек и считал, что какого-то звена для разрешения этих противоречий явно недостает. Соответственно, им предлагалось проведение широких экспериментальных исследований путем создания специальных лесогидрологических станций. Хотя к середине 20 века в СССР было создано множество таких станций, констатируется, что вплоть до второй его половины в СССР, а затем и в России так и не были проведены крупномасштабные экспериментальные исследования с целью оценки изменения баланса влаги после вырубки лесов (5).

Таким образом, до начала 21 века вопрос о влиянии лесов на сток рек повисал в воздухе (1).

Сколько-нибудь внятные ответы на него появились лишь позднее в результате анализа длительных рядов наблюдений за стоком рек в различных регионах с сопряженным анализом метеоданных на ключевых метеорологических станциях, а также посредством мониторинга лесистости исследуемых водосборов (10).

Во второй половине прошлого века лесными гидрологами из США были проведены масштабные эксперименты, результаты которых свидетельствовали о том, что после проведения рубок сток возрастал (4). Все аргументы своих оппонентов о том, что сток с лесных водосборов больше, чем с безлесных в силу того что над лесом выпадает больше осадков, опровергались тем, что в данном случае имеет место подмена причинно-следственных связей. Сторонники иссушающей концепции утверждали, что над лесными водосборами выпадает больше осадков не потому, что там растут леса, а просто леса растут там, где выпадает больше осадков.

Тем не менее, в ряде работ приводятся факты, подтверждающие положительное влияние лесов на объем годового стока, в частности это касается бореальных лесов (6, 9, 15). Такие оценки чаще имеют место в бореальных лесах, где велика доля атмосферных осадков, выпадающих в виде снега, но механизмам, которые могли бы объяснить причины таких различий, уделяется мало внимания (14). Причины таких различий по нашему мнению кроются в недооценке специфики баланса снеговой влаги в лесу и на открытых участках в различных климатических условиях (9).

В холодный период года, когда атмосферные осадки выпадают в виде снега и надолго консер-

вируются в снежном покрове, а транспирация прекращается, активный влагооборот имеет место преимущественно над земной поверхностью. Важнейшими составляющими потоков снеговой влаги в зимний период являются перехват твердых атмосферных осадков пологом леса, испарение с поверхности снежного покрова, горизонтальное перераспределение снега посредством ветрового переноса и испарение снега, в том числе во время метелей. Зимой интенсивность и направленность потоков влаги не связаны с продуктивностью растительного покрова, а определяются преимущественно характером растительности (лес, безлесное пространство) и условиями окружающей среды. Очевидно, что именно специфика баланса снеговой влаги является тем недостающим звеном в объективной оценке гидрологической роли лесов, о котором выше говорил Г. Н. Высоцкий.

Результаты исследований в условиях мягких и относительно теплых зим свидетельствуют о том, что до 60% кумулятивного снегопада может быть перехвачено бореальными лесами, и более 30% ежегодного снегопада может вернуться в атмосферу путем сублимации (11). В результате удаления лесов или изреживания лесного покрова в таких условиях за счет снижения перехвата осадков пологом может значительно увеличиться накопление снега. Об этом свидетельствуют результаты наблюдений в северной Швеции, а также в штате Юта США (12, 14). Очевидно, что такое увеличение запасов воды в снежном покрове приведет к увеличению стока во время таяния снега.

И наоборот, полевые наблюдения в Сибири, особенно в северной части, показали, что запасы



**Буренина  
Тамара Анисимовна**

старший научный сотрудник  
лаборатория техногенных  
лесных экосистем



**Мусохранова  
Анастасия Викторовна**

научный сотрудник  
лаборатории лесоведения  
и почвоведения



**Рис. 1.** Полог лиственных лесов перехватывает незначительное количество твердых атмосферных осадков, поэтому в них формируется мощный снежный покров

воды в снежном покрове могут снижаться после вырубki лесов. (9). В регионах с резко континентальным климатом сильный ветер вызывает метели на обширных вырубках в первые несколько лет после рубок. Эти метели увеличивают испарение снега и уменьшают сток (10). А. Varhola с соавторами (13) также обнаружили, что ветер является основным фактором, влияющим на баланс снеговой влаги, поскольку он может перераспределять снег, выносимый из центра вырубki в лес, и истощать снежный покров на вырубках за счет усиленной сублимации.

Резюмируя выше сказанное, можно констатировать, что в условиях мягких и теплых зим с невысокой ветровой активностью на открытых участках, как правило, формируется более мощный снежный покров, чем в лесах. Это связано с тем, что снег в таких условиях становится более плотным и не подвержен сильному выдуванию и испарению во время метелей. В тоже время пластичный и липкий снег хорошо за-



**Рис. 2.** Темнохвойные леса задерживают пологом до 60 % от выпадающих зимних осадков

держивается пологом леса, снижая запасы воды в снежном покрове на лесных водосборах. Это становится одной из основных причин увеличения стока с уменьшением лесистости водосборов в условиях теплых зим.

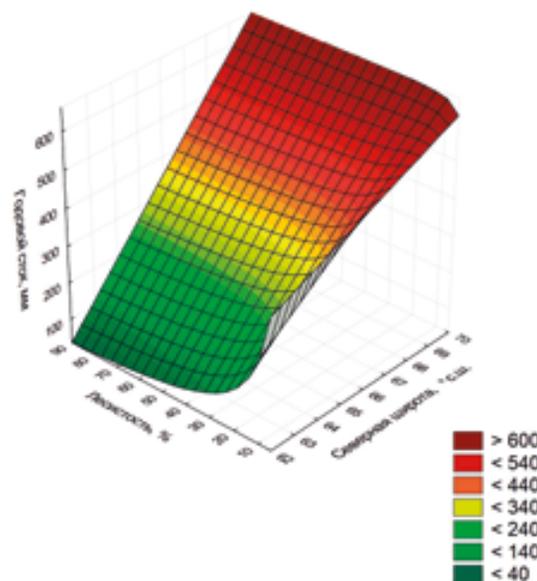
В холодном жестком климате с повышенной ветровой активностью и низкой влажностью воздуха, который характерен для континентальных регионов лесотундры и северной тайги, в лесу, наоборот, формируется более мощный снежный покров, чем на безлесных участках. Такой эффект обусловлен тем, что сухой мелкий снег под действием ветра легко осыпается с крон деревьев и хорошо сохраняется под пологом леса, будучи защищенным от выдувания и испарения. Тогда как на открытых участках активизируются метели, и испарение поднятого в воздух снега за счет увеличения площади его испаряющей поверхности существенно возрастает. Это способствует увеличению снегозапасов в лесу по сравнению с полем.

Таким образом, на уровне древостоев в теплом климате зимой лес по сравнению с безлесными угодьями работает как лучший испаритель и выступает как фактор снижения стока. В суровых климатических условиях с высокой ветровой активностью, наоборот, в лесу формируется более мощный снежный покров по сравнению с открытыми пространствами. Лес в этих условиях выступает как фактор снижения эвапотранспирации и увеличения стока рек.

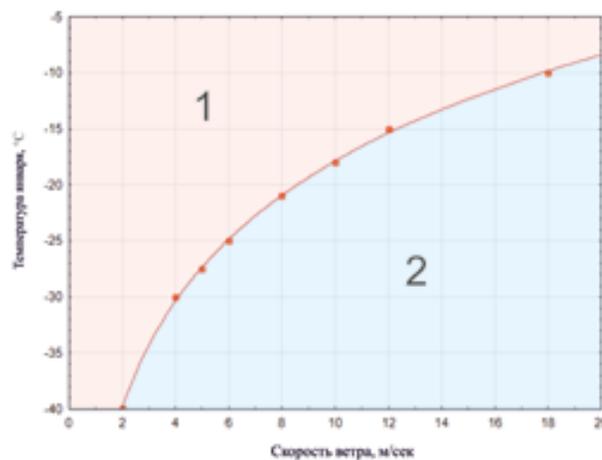
Необходимо отметить, что эти выводы относятся к случаям, когда влияние лесов на структуру водного баланса рассматривается на локальном уровне, не учитывая трансгрессивный аспект воздействия лесов, т.е. их влияние на водный баланс территорий, расположенных далеко за пределами произрастания этих лесов. Оценка гидрологической и в целом климаторегулирующей роли лесов на глобальном уровне, безусловно, имеет важнейшее значение для сохранения стабильности биосферы и условий, пригодных для жизни на планете Земля (3, 7), но это требует отдельного рассмотрения.

Для управления лесами с целью получения желательного гидрологического эффекта необходимы знания реакции стока рек на изменение структуры лесного покрова в различных природных зонах. Ведутся исследования динамики стока ряда рек, расположенных в различных природных зонах Евразии (10). Так, в лесотундре и северной тайге Средней Сибири с увеличением лесистости водосборов наблюдалось увеличение годового стока рек, тогда как в зоне средней тайги и горных лесах Прииссыкулья, наоборот, наблюдался противоположный эффект (Рис. 3).

Аналогичные результаты в зональном аспекте получены в Британской Колумбии (провинция Канады), где совокупные лесные нарушения в северной части региона привели к снижению годового стока, а в центральной и южной частях дали противоположный эффект (15). Однако авторы не представили никакой информации о причинно-следственной связи такого несоответствия гидрологических последствий нарушения лесов. Хотя, по нашему мнению, специфика баланса снеговой влаги и здесь может иметь решающее значение, и обусловлена она, как и в Сибири, различиями климатических условий. Таким образом, можно утверждать, что существуют общие закономерности изменения гидрологических функций лесов, обусловленные климатическими гра-



**Рис. 3.** Зависимость годового стока рек от лесистости водосборов и широты местности



**Рис. 4.** Климатический барьер в координатах температуры воздуха и скорости ветра, определяющий гидрологический статус лесных экосистем: 1 – снижение стока, 2 – увеличение стока рек

диентами, что дает основания говорить о становлении концепции географического детерминизма в оценке гидрологической роли лесов (9). Предложенная концепция во многом снимает кажущиеся противоречия, примиря ранее сформулированные концепции всеобщей увлажняющей, иссушающей либо неопределенной или неустойчивой гидрологической роли лесов (1).



**Рис. 5.** А.А. Онучин в процессе отбора проб снежного покрова на одной из точек маршрутной снегосъемки



**Рис. 6.** Т. А. Буренина, с.н.с лаборатории техногенных лесных экосистем Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что важную роль в оценке влияния лесов на сток играет климат. Очевидно, что определенное значение в этом случае могут иметь и свойства водосборов, уклон, экспозиция, почвы и т.д. Однако свойства водосборов и трансгрессивный аспект влияния лесов на их гидрологическую роль, остаются наименее изученными и требуют расширения наших знания в этой области (14). В отличие от свойств водосборов влияние климата на гидрологическое значение бореальных лесов в значительной степени выяснено. Так, в координатах двух климатических параметров (температуры воздуха и скорости ветра) установлен климатический барьер при переходе, через который лес меняет свой гидрологический статус и из фактора снижения стока становится источником его формирования (8). Кривая на Рис. 4 может служить таким климатическим барьером, позволяющим определить гидрологический статус лесных экосистем.

При сочетании температур воздуха и скоростей ветра, попадающих в (зону 2) ниже этой кривой, лес с большой вероятностью будет являться источником формирования стока, а в ином случае (зона 1), наоборот, будет снижать сток с водосборных бассейнов.

### Заключение

Представленные результаты раскрывают важные причины противоречий, существовавших в оценке гидрологического значения лесов. Они

обусловлены тем, что вне поля зрения большинства лесных гидрологов оставалась специфика баланса снеговой влаги в лесу и на открытых участках в контексте фоновых условий окружающей среды, которые географически детерминированы. Концепция географического детерминизма в оценке гидрологической роли лесов, которую можно рассматривать как воплощение в реальность тезиса Г. Н. Высоцкого (лес сушит равнины и увлажняет горы), позволяет объяснить существовавшие противоречия в части потребления и производства воды лесными экосистемами. Эта концепция может служить теоретической основой формирования стратегий лесоуправления в регионах, где проблемы взаимосвязи лесных и водных ресурсов являются актуальными. Важным шагом в понимании гидрологического значения бореальных лесов является установление климатических рубежей, при которых леса меняют свой гидрологический статус и из потребителей влаги переходят в источники формирования стока по сравнению с безлесными территориями.

### Список использованных источников

1. Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод. — Л.: Гидрометеоздат, 1988. — 286 с.
2. Высоцкий Г. Н. Лес сушит равнины и увлажняет горы. — На лесокультурном фронте, 1932, № 2, стр. 23–24.
3. Горшков В. Г. (1995) Физические и биологические основы устойчивости жизни. Москва: ВИНТИ. URL: <https://bioticregulation.ru/pubs/kniga95/vgg95-150dpi.pdf>

4. Лалл Г. У. Возможности увеличения полного стока посредством лесохозяйственных мероприятий // Доклады иностранных ученых на Международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду. Т. 2. М., 1970. С. 80–99.
5. Соколов А. А. О чем шумит русский лес: из истории изучения гидроклиматической роли леса. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982. — 95с.
6. Ellison, D., N. Futter, M., Bishop, K., 2012. On the forest cover–water yield debate: from demand- to supply-side thinking. *Global Change Biol.*, 18(3), 806–820. DOI:10.1111/j.1365-2486.2011.02589.x
7. Makarieva, A. M. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land / A. M. Makarieva, V. G. Gorshkov // *Hydrology and Earth System Sciences*. — 2007. — Vol. 11, No. 2. — P. 1013–1033. — DOI 10.5194/hess-11-1013-2007. — EDN LKHIRV.
8. Onuchin A. The Climatic Conditionality of Hydrological Functions of Forest Ecosystems // FEB RAS – AASSA Regional Workshop on Impacts and Mitigations of Climate Change in Asia and Oceania. July 29–August 1, 2012 Vladivostok, Russia, pp. 103–104.
9. Onuchin, A., 2015. The reasons for conceptual contradictions in evaluating hydrological role of boreal forests. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal*, 2. DOI:10.15372/SJFS20150204
10. Onuchin, A., Burenina, T., Shvidenko, A., Prysov, D., Musokhranova, A., 2021. Zonal aspects of the influence of forest cover change on runoff in northern river basins of Central Siberia. *Forest Ecosystems*, 8(1), 45. DOI:10.1186/s40663-021-00316-w
11. Pomeroy, J. W. and Schmidt, R. A. 1993. The use of fractal geometry in modeling intercepted snow accumulation and sublimation, *Proc. Eastern Snow Conference*, 50, 1–10.
12. Schelker J., Kuglerova L., Eklof K., Bishop K., Laudon H. Hydrological effect of clear-cutting in a boreal forest — Snowpack dynamics, snowmelt and stream flow response. // *J. Hydrol.* 2013. V. 484. P. 105–114.
13. Varhola, A. et al., 2010a. The influence of ground- and lidar-derived forest structure metrics on snow accumulation and ablation in disturbed forests. *Can. J. For. Res.*, 40(4), 812–821. DOI:10.1139/X10-008
14. Wei, X., Giles-Hansen, K., Spencer, S., Ge, X., Onuchin, A., Li, Q., Burenina, T., Ilintsev, A., Hou, Y. Forest Harvesting and Hydrology in Boreal Forests: Under an Increased and Cumulative Disturbance Context. *Forest Ecology and Management* V.522. 2022.
15. Zhang, M., Wei, X., Li, Q., 2017. Do the hydrological responses to forest disturbances in large watersheds vary along climatic gradients in the interior of British Columbia, Canada? *Ecohydrology*, 10(2), e1840. DOI:10.1002/eco.1840

1

---

# Охрана лесов от пожара

22

Усовершенствованная технология мониторинга интенсивности пожаров растительности и оценки пожарных эмиссий дистанционными средствами

25

Технология составления карт растительных горючих материалов (карт РГМ)

31

Краткий справочник эколого-географических и лесопирологических особенностей лесных районов

35

Технологии снижения пожароопасности вырубок путем контролируемых выжиганий

39

База данных по мировой пилотируемой пожарной авиации

# УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЖАРОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКИ ПОЖАРНЫХ ЭМИССИЙ ДИСТАНЦИОННЫМИ СРЕДСТВАМИ



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук - обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28

## Пономарев Евгений Иванович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

моб. тел.: +7-906-912-95-79, раб. тел.: (391) 249-40-92,  
evg@ksc.krasn.ru

Для большей части лесов и тундры Сибири с начала XXI в. фиксируется рост числа пожаров растительности и площадей, ежегодно подвергающихся воздействию огня. С учетом существующих климатических сценариев прогнозируется формирование качественно новых пожарных режимов региона уже в ближайшей перспективе. Следует ожидать увеличение ежегодных эмиссий углеродосодержащих соединений в атмосферу в результате пожаров.

Насколько велик вклад пожаров Сибири в эмиссии парниковых газов и каковы перспективы влияния пожаров на глобальный бюджет углерода планеты, помогают оценивать новые подходы анализа материалов спутникового мониторинга.

В настоящее время дистанционное зондирование является важнейшим и практически единственным эффективным инструментом получения данных о пожарах растительности в Сибири

(Рис. 1). Материалы спутниковых съемок позволяют не только фиксировать все пожары региона, но и отслеживать их динамику. С использованием современных данных и методов специалисты могут достоверно определять приуроченность пожара к типу леса, детектировать площади, пройденные огнем, а также измерять энергию тепловыделения и характеризовать интенсивность процесса горения. Многообразие лесорастительных условий, доминирующих древостоев и запасов лесных горючих материалов на территории Сибири обуславливают широкий спектр энергетических характеристик горения в каждом случае пожара. Новые разработки Института леса им. В. Н. Сукачева – ФИЦ КНЦ СО РАН (Красноярск) позволяют на основе энергетических параметров пожара детализировать и уточнять объемы сгорающей биомассы и пересчитывать эти данные в прямые пожарные эмиссии в режиме, приближенном к реальному времени.

В мировой практике определение пожарных эмиссий основывается на мультипликативном эмпирическом соотношении Сейлера–Крутцена, предложенном в 1980 г., где параметрами выступают доступная масса сгорающих растительных материалов, суммарная площадь пожаров и коэффициент полноты сгорания. Однако в данном подходе интенсивность горения, определяющая широкий диапазон варьирования входных параметров, считается постоянной.

В новом адаптированном подходе используются инструментальные спутниковые замеры тепло-



**Рис. 1.** Действующие пожары на территории Якутии на данных съемки со спутника Landsat-8 за 13 июля 2023 г. из открытого каталога спутниковой съемки <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 04.12.2023)

выделения от активных очагов горения (технология Fire Radiative Power – FRP), что позволяет выделять отдельные фазы пожара переменной интенсивности. При этом мощность теплоизлучения зоны активного горения линейно связана с объемом сгорающей биомассы. На предложенный подход классификации интенсивности горения и детализации пожарных эмиссий в 2021 г. получен патент RU 2755936 С1, 2021 (Рис. 2).

Использование предлагаемого способа вычисления прямых пожарных эмиссий углеродосодержащих соединений с учетом автоматической пороговой классификации интенсивности пожара обеспечивает следующие преимущества:

- высокую оперативность получения данных;
- возможность выполнения оперативного мониторинга прямых пожарных эмиссий на большой территории;
- снижение доли неопределенности и эмпиричности при количественных оценках прямых пожарных эмиссий;
- способ позволяет учитывать широкую вариативность входных параметров в условиях горения переменной интенсивности;
- способ реализует возможность автоматического вычисления пожарных эмиссий при проведении оперативного спутникового мониторинга пожаров.

Специалисты Института леса им В. Н. Сукачева, основываясь на материалах банка пожаров за 1996–2023 г. ФИЦ КНЦ СО РАН, получили уточненные данные ежегодных вариаций пожарных эмиссий для Сибири на историческом 27-летнем интервале.

Значимый рост интенсивности пожаров характерен для ~ 30% территории Сибири и охватывает преимущественно ареал произрастания лиственничных (*Larix sibirica*, *L. gmelinii*) лесов и редколесий (севернее 60° с.ш.). Кроме того, интенсивность горения имеет тенденцию роста в зоне тундры (>67° с.ш.), которая потенциально может дать значительную аддитивную добавку в годовой выход эмиссий от пожаров, как это было зафиксировано, например, в сезон экстремальной горимости Арктики в 2020 году. Среднегодовой уровень пожарных эмиссий в Сибири увеличивался с 60.0±25.8 Тг/год в 2002–2011 гг. до 137.0±60.0 Тг/год в 2012–2019 гг. и до 296.0±102.0 Тг/год за период 2020–2023 гг.



**Рис. 2.** Патент на способ расчета прямых пожарных эмиссий углерода с учетом пороговой классификации интенсивности пожара растительности по спутниковым съемкам в ИК диапазоне

Предполагаемый подход может быть востребован в целях совершенствования технологий дистанционного контроля и пространственно-временного моделирования пожарных эффектов, а также для достоверного учета и прогнозирования объемов сгорающей биомассы и эмиссий углерода, что не только актуально как вопрос экологии и здоровья населения, но является одним из пунктов международной политики.

### Литература

1. Пономарев Е. И. Способ расчета прямых пожарных эмиссий углерода с учетом пороговой классификации интенсивности пожара растительности по спутниковым съемкам в ИК диапазоне // Патент на изобретение. – RU 2755936 C1, 2021. 7 с.
2. Ponomarev E.I., Yakimov N. D., Ponomareva T. V., Yakubailik O. E., Conard S. G. Current Trend of Carbon Emissions from Wildfires in Siberia // Atmosphere, 2021, 12(5), 559. <https://doi.org/10.3390/atmos12050559>
3. Ponomarev E.I., Zabrodin A. N., Shvetsov E. G., Ponomareva T. V. Wildfire Intensity and Fire Emissions in Siberia // Fire, 2023, 6(7), 246. <https://doi.org/10.3390/fire6070246>.
4. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года // Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021. – № 3052-р. – <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022>.



Пономарев Евгений

### Личный комментарий от разработчика:

«С конца XX века для территории Сибири характерно увеличение количества лесных пожаров и площади ежегодных выгораний. Мы предполагаем, что дальнейшее увеличение пожарных выбросов в Сибири будет определяться не только увеличением площадей пожаров, но и перераспределением низко- и высокоинтенсивного горения и увеличением удельных значений выбросов с единицы лесной площади, пройденной огнем. Подсчитано, что на сибирские пожары может приходиться от 5 до 20% общего объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации. Можно ожидать, что тенденция роста высокоинтенсивного горения продолжится и дальше в условиях климатических изменений. Это приведет к дополнительным объемам прямых выбросов углерода от пожаров. Кроме того, в перспективе известных климатических сценариев регулярная повторяемость экстремально высоких эмиссий позволит рассматривать часть лесов Сибири в качестве источника углерода».

# ТЕХНОЛОГИЯ СОСТАВЛЕНИЯ КАРТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ (КАРТ РГМ)



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук - обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28



Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Красноярский государственный  
педагогический университет  
им. В.П. Астафьева»

660049, г. Красноярск,  
ул. Ады Лебедевой, д. 89



**Волокитина  
Александра Витальевна**

доктор сельскохозяйственных наук,  
ведущий научный сотрудник, доцент

моб. тел: +7-913-194-28-95,  
раб. тел: (391) 249-44-62,  
volokit@ksc.krasn.ru



**Софронова  
Татьяна Марковна**

кандидат сельскохозяйственных  
и филологических наук, доцент

моб. тел: +7-905-086-30-82,  
раб.тел: (391) 217-17-93,  
tmsofronova@gmail.com



**Корец  
Михаил Анатольевич**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

моб. тел: +7-923-295-96-00,  
раб. тел: (391) 249-46-14,  
mik@ksc.krasn.ru

## Введение

Актуальность проблемы пожаров растительности, куда относятся и лесные пожары, велика во всем мире. Она не может быть решена только за счет наращивания технической мощи без учета особенностей природы данного явления, как показал опыт Канады и США, где давно созданы и развиваются национальные системы оценки пожарной опасности и прогноза поведения пожаров [1,2]. В России разработана и успешно применяется на практике система мониторинга пожаров растительности, включающая космический мониторинг и авиапатрулирование лесов [3] и система оценки пожарной опасности по условиям погоды. Системы прогноза поведения пожаров растительности в России пока нет, но имеются все предпосылки для ее разработки на основе многолетних фундаментальных пирологических исследований, позволяющих создать необходимую для этого информационную базу.

**Карты растительных горючих материалов (карты РГМ) — основа для прогнозирования возникновения, течения и последствий пожаров растительности.**

В практике лесопожарной охраны неизбежны ситуации, когда необходимо прогнозировать возможность возникновения, поведение и последствия пожаров. Во-первых, при возникновении значительного количества пожаров на их своевременную ликвидацию не хватает сил и средств, и поэтому надо выбирать из пожаров наиболее опасные в отношении возможного ущерба (особенно при вероятности угрозы населенным пунктам и ценным объектам) и наиболее трудные в отношении борьбы с ними в случае их развития. Во-вторых, при составлении оптимального плана управления крупным пожаром (включая его контролирование и ликвидацию) надо предусмотреть и учесть опасные тенденции и ситуации в его распространении и развитии. В-третьих, сценарии распространения пожара и его последствий на определенной площади при различных погодных условиях необходимы для выбора оптимального времени и оптимальной технологии целевых выжиганий.

Сложно себе представить выполнение этих задач без специальных карт, содержащих пирологические характеристики комплекса растительных горючих материалов (РГМ). Наибольшее значение имеет прогноз возникновения и поведения низовых пожаров, поскольку они составляют более 80% от всех возникающих пожаров растительности, а верховые пожары развиваются из низовых и не могут без их поддержки распространяться на значительные расстояния. Исторически сложилось, что в разных странах разрабатывались параллельно свои методические подходы к классификации растительных горючих материалов и к созданию информационных баз данных для их картографирования. Условно можно выделить следующие методические подходы: «выборочный», «типовой» и «индивидуально-типовой».

При «выборочном» методе эмпирически изучается «пожарное созревание» и горение отдельных категорий участков растительности (биогеоценозов) в связи с динамичными метеоусловиями и фенологическими периодами. Данный метод разрабатывался в Канаде [4] и до 80-х годов прошлого века в России [5,6]. Но различных категорий участков растительности огромное количество, для изучения их пирологических характеристик требуются долгие годы, а при прогнозе поведения пожаров на конкретной территории необходима пирологическая характеристика всех участков — и лесных, и нелесных. Обеспечить это «выборочный» метод не может.

При «типовом» методе вся растительность (лесная и нелесная) грубо разделяется на топливные модели. Данный метод используется в США в национальной системе «BEHAVE». Вначале на территории США было выделено 13 топливных моделей, затем 40, и их число продолжает расти [7]. Использование «типового» метода для прогноза поведения пожаров растительности в какой-то степени оправдано в беслесных странах, но не в России с ее разнообразием природных условий и многочисленными типами леса.

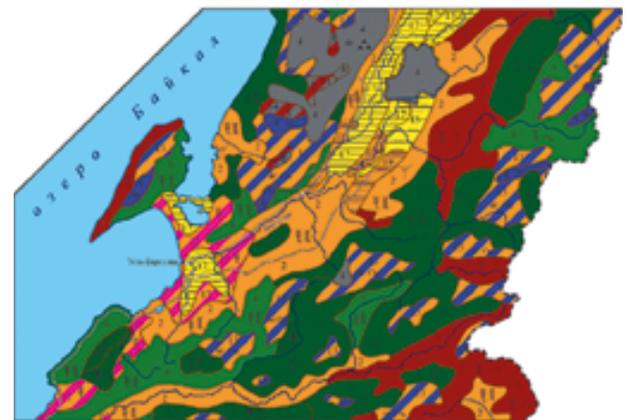
При «индивидуально-типовом методе» составляются индивидуальные пирологические характеристики каждого участка растительности из набора типовых элементов, отражающих описание компонентов комплекса РГМ, а также условия увлажнения, высыхания и горения основных проводников горения. Основные проводники горения — это главная группа растительных горючих материалов из напочвенного покрова, которая определяет возможность или невозможность распространения пламенного горения по территории при данных погодных условиях. Именно эта группа горючих материалов должна отражаться на картах. «Индивидуально-типовой» метод стал разрабатываться в России в конце 70-х годов прошлого столетия под руководством основоположника лесной пирологии академика ВАСХНИЛ И. С. Мелехова, когда началось экспериментальное изучение закономерностей увлажнения, высыхания и горения напочвенных покровов в таежной зоне в разных регионах России (Европейский Север, Западная и Восточная Сибирь, Забайкалье) [8,9,10,11], что привело к разработке более совершенной классификации РГМ, которая и послужила основой для разработки методик и технологии составления карт растительных горючих материалов в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. На самих картах цветом отражаются основные проводники горения, а в пирологическом описании к карте дается характеристика других групп горючих материалов. На основе карт РГМ составляются карты текущей природной пожарной опасности, где состояние готовности участков растительности к горению оценивается по трем градациям: готов к горению (красным цвет), не готов (зеленый цвет), находится в стадии пожарного «дозревания» (желтый цвет). В зависимости от выполняемых лесопожарной охраной задач требуются карты РГМ разных масштабов.

### Среднемасштабные карты РГМ

Для целей мониторинга пожаров растительности, для составления генеральных схем противопожарного устройства лесов, при планировании освоения новых районов и размещения различных объектов народного хозяйства (например, нефтегазовых комплексов), а также при прогнозных экологических экспертизах, связанных с пожарами растительности, требуются среднемасштабные карты РГМ (масштаб 1:1000000–1:500000). Для их составления разработаны 2 варианта методики: «автономный» и «сопряженный». «Автономный» заключается в использовании космоснимков для выделения природно-территориальных комплексов (ПТК), которые объединяются в ПТК-аналоги в пределах природных районов. Для характеристики ПТК-аналогов проводятся полевые пирологические исследования на ключевых участках с использованием дополнительных аэроснимков. Далее следует обычная работа по составлению карты. Данная методика требует значительных финансовых затрат. Ее авторам не удалось применить на практике. При «сопряженном» методе в качестве контуров карты РГМ используются контуры готовой выбранной карты-основы: ландшафтной, карты растительности, лесотипологической, лесного фонда, геоботанической и др. Этим контурам дается пирологическая характеристика с помощью анализа легенд карты-основы и других карт на данный регион, а также используется вся имеющаяся информация об РГМ данного региона. При недостатке информации проводятся специальные полевые исследования. На основе использования «сопряженной» методики были составлены карты РГМ на северную часть бассейна оз. Байкал в масштабе 1:1000000 (Рис. 1) и на Ангаро-Енисейский регион (на трапеции с 0–45 по 0–48) в масштабе 1:500000 [9,10]. Среднемасштабные карты РГМ могут быть полезны при управлении катастрофическими пожарами растительности, когда есть угроза их распространения на соседние регионы.

### Крупномасштабные карты РГМ

Для прогноза возникновения, поведения (скорости распространения и развития), а также ближайших последствий пожаров растительности необходимы крупномасштабные карты РГМ (масштаб 1:10000–1:50000). Основой крупномасштабных карт РГМ могут служить материалы лесоустройства, которые имеются практически на весь лесной фонд РФ, и большая их часть уже оцифрована. Но при составлении карт РГМ не-



Условные обозначения



Рис. 1. Фрагмент карты РГМ на бассейн оз. Байкал (масштаб 1: 1 000 000)

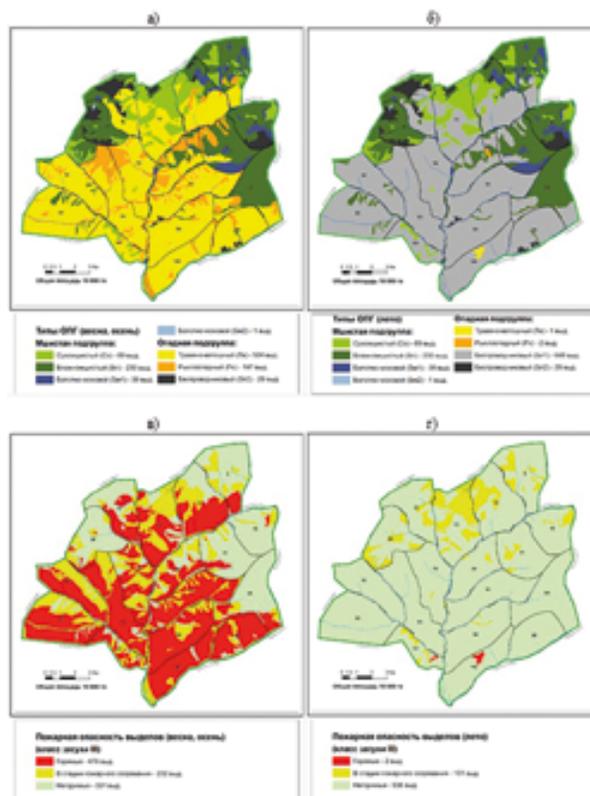
обходимо учитывать давность лесоустройства в лесодобывающих регионах и в высокогорных, поскольку потребуется актуализация лесоустроительной информации с использованием аэроснимков и космоснимков высокого и сверхвысокого разрешения для внесения в информационную базу изменений в лесном фонде после последнего лесоустройства. Наметившийся в России переход от лесоустройства к лесоин-



**Рис. 2.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: Программа для расчета пираологического описания таксационных выделов (2014)

вентаризации, к сожалению, отразится не лучшим образом на качестве новой информации, поскольку значительно сократятся наземные полевые исследования, что очень важно для дешифрирования по снимкам основных проводников горения, которые отражаются на картах РГМ. Прямое дешифрирование основных проводников горения возможно только для ограниченного числа случаев, а для косвенного — необходимы наземные наблюдения.

В ИЛ СО РАН на основе многолетних фундаментальных пираологических исследований разработана технология составления крупномасштабных карт РГМ по лесоустроительной информации в ГИС. Разработана и зарегистрирована программа для расчета пираологического описания лесоустроительных выделов [12] (Рис. 2). В рамках Госконтракта № 82 (2008–2010) была создана информационная база данных и составлены карты РГМ для разных периодов пожароопасного сезона на Чунское лесничество (в Красноярском Приангарье) площадью около 1 млн.



**Рис. 3.** Фрагменты карт растительных горючих материалов и карт текущей природной пожарной опасности на заповедник «Убсунурская котловина»

га. По Договору № 339 с Восточно-Сибирским лесоустроительным предприятием были составлены карты РГМ на заповедники: Столбы, Саяно-Шушенский, Кузнецкий Алатау, Убсунурская котловина. На рисунке 3 приведены фрагменты карты РГМ для разных периодов пожароопасного сезона для заповедника Убсунурская котловина, а также составленные на их основе карты текущей природной пожарной опасности для третьего класса засухи по условиям погоды. Такие карты, используя информационную базу данных, можно составить для всех пяти классов засухи по условиям погоды, чтобы прогнозировать возможность возникновения пожаров растительности при появлении источников огня.

Для прогноза поведения возникших пожаров и их ближайших последствий в ИЛ СО РАН разработана и зарегистрирована компьютерная программа [13] (Рис. 4). В основе программы — карта РГМ и модель распространения пламенного горения [14]. Разработанный метод прогнозирования базируется на использовании простых

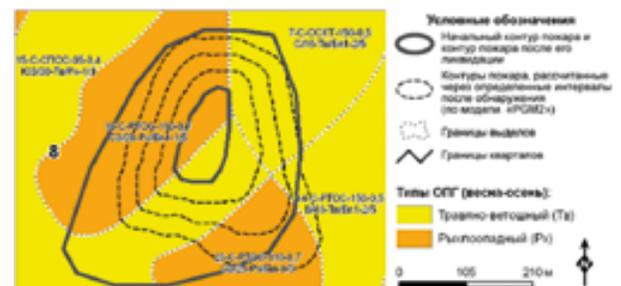
эмпирических зависимостей и таблиц. Вначале оценивается состояние готовности к горению участков растительности вокруг очага пожара в связи с уровнем засухи, затем прогнозируется скорость распространения и интенсивность горения на участках в соответствии с метеопрогнозом при моделировании распространения контура пожара. И наконец, оцениваются возможные последствия пожара с учетом интенсивности горения и таксационной характеристики древостоя на каждом участке. Ретроспективная проверка работы программы показала хорошие результаты. С этой целью были проанализированы 125 прошлых пожаров в Чунском лесничестве и 10 пожаров в заповеднике Столбы. Один из результатов проверки показан на рисунке 5 и в таблице.

### Заключение

Несмотря на сложную экономическую ситуацию в стране и ограниченность средств в лесном хозяйстве на совершенствование лесопожарной охраны, хотелось бы обратить внимание руководителей Федеральной службы лесного хозяйства и Министерства природных ресурсов и экологии РФ на прикладные разработки ученых академического института, основанные на многолетних фундаментальных пирологических исследованиях, выполненные с учетом зарубежного опыта. Так сложилось, что академические институты не получают финансирование на опытно-производственную проверку прикладных разработок, а без этого невозможно их внедрение. Понятно, что сложно сразу на всю территорию России создать информационную базу для составления предлагаемых крупномасштабных карт растительных горючих материалов, столь необходимых для прогноза возникновения и поведения возникающих пожаров. Но желательно в ближайшее время хотя бы создать возможность продолжить эту работу для особо охраняемых природных территорий (ООПТ), вокруг населенных пунктов, которые могут пострадать от лесных и степных пожаров, а также вокруг важных народнохозяйственных объектов. Решению указанной проблемы мешает также финансовая разобщенность отраслевых и академических институтов лесного профиля. Отраслевые институты получают средства на разработки для лесного хозяйства, но не всегда имеют специалистов достаточно высокого научного уровня. Выход — в сотрудничестве, но его надо развивать путем взаимодействия руководителей лесных институтов при поддержке федеральных органов власти.



**Рис. 4.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: Программа для прогноза распространения низового пожара (2015)



**Рис. 5.** Прогноз распространения лесного пожара в заповеднике «Столбы»

Статья подготовлена в рамках базового проекта «Научные основы сохранения ресурсного и экологического потенциала лесов Сибири в условиях кумулятивных антропогенных и природных рисков», № FWES-2021-0010, Рег. НИОКТР, № 121030900181-4.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЖАРА № 5, РАССЧИТАННЫЕ ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЕ

Характеристика пожара	Время от начала прогноза, ч		
	1	2	3
Площадь пожара, га	2,7	5,2	8,5
Периметр пожара, м	620	870	1120
Скорость увеличения периметра, м/ч	226	260	240
Скорость увеличения площади, га/ч	2,0	2,9	3,6
Средняя скорость фронта пожара, м/ч	33	35	34
Средняя интенсивность кромки, кВт/м	112	109	107
Сила пожара	Средняя	Средняя	Средняя
Оценка количества сил и средств для тушения пожара			
Оптимальная скорость тушения, м/ч	680	780	720
Продолжительность тушения, ч / площадь пожарища после тушения, га, при количестве рабочих			
3	7,0 / 16	–	–
5	3,0 / 8,0	5,0 / 20,0	7,0 / 40,0
7	1,5 / 4,5	2,5 / 11,0	3,5 / 20,0
10	1,0 / 3,5	1,5 / 9,9	2,5 / 17,0
15	0,5 / ,03	1,0 / 7,0	1,5 / 15,0
20	–	–	1,0 / 14,0

### Литература

- Burgan R. E., Rothermel R. G. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system – FUEL subsystem. Gen. Tech. Rep. INT-167. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. – 1984. – 126 p.
- Forestry Canada, Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. – Science and Sustainable Development Directorate. – Inf. Rep. ST-X-3. – Ottawa. – 1992. – 63 p.
- Барталев С. А., Ершов 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) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 2, № 5. С. 419–429.
- De Groot W. J. Fuel types in the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System. Forestry Canada Northwest Region Northern Forestry Center 5320–122 Street Edmonton, Alberta T6H 355. – Minister of Supply and Services Canada. – 1993. – 16 p.
- Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. – М.: Гослесбумиздат. – 1962. – 154 с.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии / ИЛИД СО АН СССР. – Красноярск. – 1970. – С. 5–58.
- Andrews P., Bevins C., Seli R. BehavePlus fire modeling system, version 4.0: User's Guide. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-106WWW Revised. Ogden, UT: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. – 2008. – 116p.
- Волокитина А. В. Экспериментальное изучение влияния осадков на режимы влажности и горения напочвенного покрова в целях прогнозирования пожарной опасности в таежных лесах: Автореф. дисс. ... канд.с.-х.наук. М.: МЛТИ. – 1980. – 23 с.
- Волокитина А. В. Среднемасштабные карты растительных горючих материалов на примере бассейна оз. Байкал и Приангарья. // Экологическое картографирование Сибири. – Новосибирск: Наука. – 1996. – С. 170–180.
- Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. – Новосибирск: Изд. СО РАН. – 2002. – 314 с.
- Волокитина А. В., Софронов М. А., Корец М. А., Софронова Т. М., Михайлова И. А. Прогноз поведения лесных пожаров. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2010. – 211 с.
- Корец М. А., Волокитина А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: «Программа для расчета пирологического описания лесостроительных выделов. – № 2014660252 от 03 октября 2014 г.
- Корец М. А., Волокитина А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: «Программа для прогноза распространения низового пожара». – № 2015661771 от 09 ноября 2015 г.
- Софронов М. А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. – М.: Наука. – 1967. – 152 с.

# КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ЛЕСОПИРОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ



Филиал Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Центр лесной пирологии»

660062, г. Красноярск, ул. Крупской, д. 42

## **Буряк Людмила Викторовна**

доктор сельскохозяйственных наук,  
главный научный сотрудник

тел.: (391) 247-47-74, buryaklv@firescience.ru

## **Котельников Роман Владимирович**

кандидат технических наук, директор филиала

тел.: (391) 247-47-74, kotelnikovrv@firescience.ru

## **Павличенко Евгений Александрович**

инженер-исследователь

тел.: (391) 247-47-74, pavlichenkoea@firescience.ru

## **Иванов Владимир Сергеевич**

инженер-исследователь

тел.: (391) 247-47-74, ivanovvs@firescience.ru

Опубликован «Краткий справочник эколого-географических и лесопирологических особенностей лесных районов», содержащий информацию об особенностях лесных районов и лесорастительных зон, определяющих природную и антропогенную пожарную опасность лесных земель в границах лесных районов,

оценку горимости лесного фонда и иллюстрации природных экосистем каждого лесного района.

В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации на территории России в зависимости от природно-климатических условий были определены лесорастительные зоны и выделены лесные районы с относительно сходными лесорастительными характеристиками и условиями использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов. Текущая редакция Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации утверждена приказом Минприроды России от 18.08.2014 № 367 (в редакции от 02.08.2023 № 481).

В настоящее время для каждого лесного района Российской Федерации определен возраст рубок лесных насаждений (возраст лесных насаждений, устанавливаемый для заготовки древесины определенной товарной структуры), разработаны правила заготовки древесины и иных лесных ресурсов, правила лесовосстановления, правила ухода за лесами и нормативы противопожарного обустройства лесов. Однако до сих пор при планировании и осуществлении мероприятий по организации обнаружения и тушения лесных пожаров зонально-географические особенности лесных районов не учитываются в полной мере. Отсутствует и утвержденное лесопожарное районирование. Следует отметить, что при организации таких мероприятий важно учесть лесопожарные особенности каждого лесного района, включающие не только оценку горимости территорий, но и характеристику лесорастительных



**Рис. 1.** Величина среднего уклона по лесным районам



**Рис. 2.** Среднегодовая относительная площадь погибших лесов (по данным ИСДМ-Рослесхоз за 2004-2019 гг.)



**Рис. 3.** Комплексная доступность лесных районов

условий, а также степень воздействия антропогенных факторов на лесные экосистемы.

Сотрудниками филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии» был составлен «Краткий справочник эколого-географических и лесопирологических особенностей лесных районов». Справочник содержит информацию о зонально-географических, в том числе — лесопожарных особенностях лесных районов.

Для каждого лесного района приведена оценка особенностей рельефа (в том числе определена средняя величина уклона местности) (рис.1), обобщены данные по степени облесенности, распределению лесов по целевому назначению, доминирующим породам и типам леса, степени нарушенности лесов (рис. 2) как факторов, в значительной степени определяющих лесопожарные особенности территорий.

Из антропогенных и социальных факторов, влияющих на пожарную опасность, вероятность возникновения и условия развития пожаров для каждого лесного района, проанализированы такие показатели, как плотность населения и плотность населенных пунктов, потенциально подверженных риску повреждения лесными пожарами, транспортная и комплексная доступность лесов, включающей комплексную оценку плотности дорожной сети, рельефа местности (средней величины уклона) и степени заболоченности территорий (рис. 3).

Приведены результаты анализа распределения лесных районов по среднему классу природной пожарной опасности по данным лесных планов субъектов Российской Федерации. Определены

среднемноголетние показатели по длительности фактического пожароопасного сезона с выявлением дат начала и завершения календарного пожароопасного сезона, частоте пожаров, степени относительной горимости территории и средней площади пожара. В границах лесных районов проведен анализ основных причин возникновения лесных пожаров.

Для сравнительной оценки длительности пожароопасного сезона произведена градация длительности пожароопасного сезона на 5 классов (рис. 4).

Карта-схема среднегодовой относительной горимости лесных районов построена по данным ИСДМ-Рослесхоз за 2000–2022 годы (рис. 5). При этом из числа термоточек исключены случаи, которые идентифицированы специалистами региональных диспетчерских служб как не относящиеся к лесным пожарам. В расчет взята только площадь, пройденная огнем по землям, занятым лесными насаждениями.

По данным РДС и ИСДМ-Рослесхоз выявлены максимумы частоты пожаров (рис. 6) и относительной горимости лесов по периодам пожароопасного сезона (рис. 7) и установлены среднемноголетние значения частоты возникновения лесных пожаров по декадам.

Информация, содержащаяся в справочнике, может быть полезна при разработке нормативов в области охраны лесов от пожаров, планировании и осуществлении мероприятий по противопожарному обустройству территорий, обнаружению и тушению лесных пожаров и маневрированию силами и средствами пожаротушения.

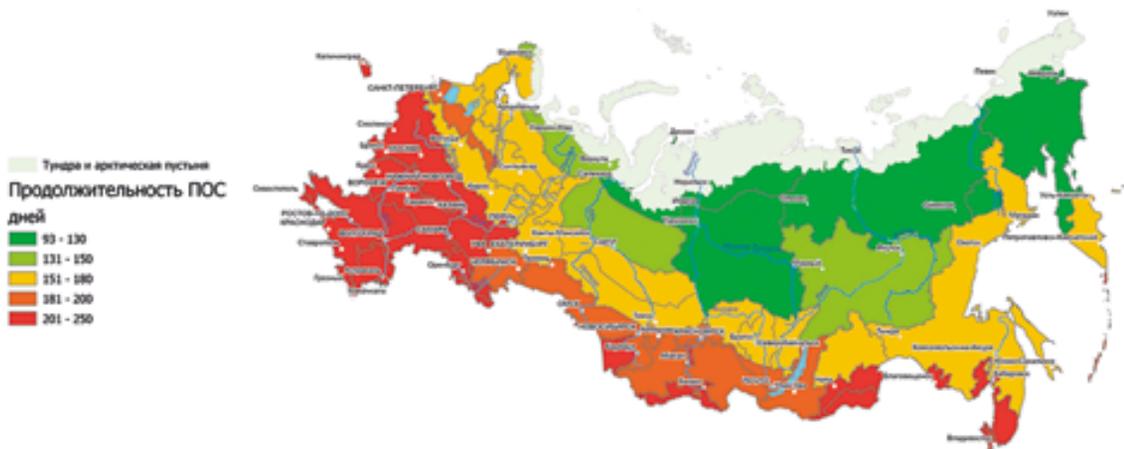
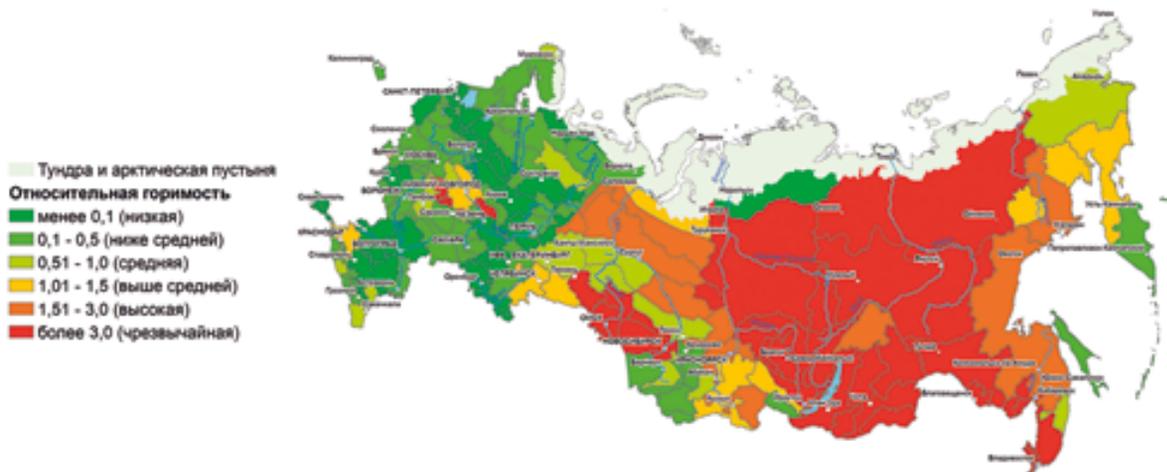
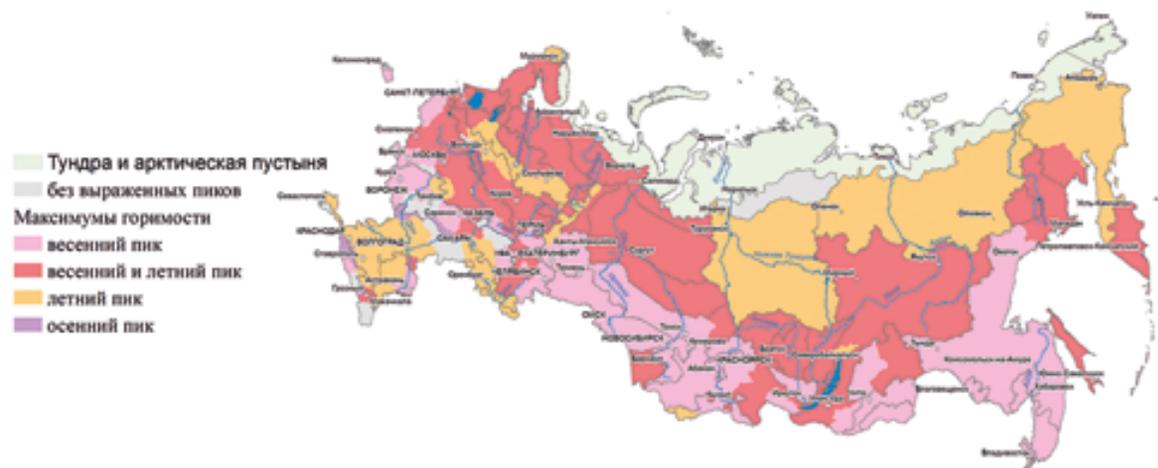


Рис. 4. Продолжительность пожароопасных сезонов по лесным районам



**Рис. 5.** Среднегодовая относительная горимость лесных районов (по данным ИСДМ-Рослесхоз за 2000–2022 гг.)



**Рис. 6.** Внутрисезонные периоды максимума частоты пожаров в лесных районах (по данным РДС)



**Рис. 7.** Внутрисезонные периоды максимума относительной горимости лесов в лесных районах (по данным РДС за 2011-2022 гг.)

# ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНОСТИ ВЫРУБОК ПУТЕМ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВЫЖИГАНИЙ



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук - обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28

## Иванова Галина Александровна

доктор биологических наук, главный научный сотрудник,  
заведующая лабораторией лесной пирологии

моб. тел.: +7-905-087-19-78, раб. тел.: (391) 249-44-62,  
gaivanova@ksc.krasn.ru

## Иванов Валерий Александрович

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник

моб. тел.: +7-903-924-76-83, раб. тел.: (391) 249-44-62,  
ivanovv53@yandex.ru

## Кисляхов Егор Кириллович

научный сотрудник

моб. тел.: +7-913-537-80-14, раб. тел.: (391) 249-44-62,  
yegorkis@mail.ru

**Применение технологии  
контролируемых выжиганий —  
эффективный и экономичный  
метод очистки мест рубок  
для снижения пожарной  
опасности вырубок и содействия  
лесовосстановлению.**



Точечное зажигание на вырубке (проводит  
Е.К. Кисляхов)

Индустриализация лесозаготовок в Сибири и расширение их объемов в последние десятилетия способствовали появлению десятков млн га вырубок. До 70% всех пожаров возникают на этих площадях с последующим распространением огня на окружающий лес. Из-за большого количества лесных горючих материалов высокая пожарная опасность на вырубках сохраняется в течение 3–4 месяцев. При зарастании вырубок запас горючих материалов не уменьшается, и пожарная опасность остается на высоком уровне, даже обилие зеленой массы трав



а



б



в

**Рис. 1.** Контролируемые выжигания на вырубке (методом сплошного пала) в пихтарнике разнотравно-зеленомошном: а) вырубка до выжигания, б) контролируемое выжигание, в) вырубка после выжигания

и кустарников не снижает ее. Как показывает зарубежный и российский опыт по контролируемым выжиганиям, сжигание порубочных остатков на вырубках позволяет снизить их пожароопасность.

По результатам экспериментальных исследований сотрудников Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН по контролируемым выжиганиям на свежих сплошных вырубках в лесах Красноярского края, проведенных на площади более чем 900 га, разработаны технологии контролируемых выжиганий на вырубках с целью снижения их пожароопасности путем сжигания порубочных остатков (рис. 1).

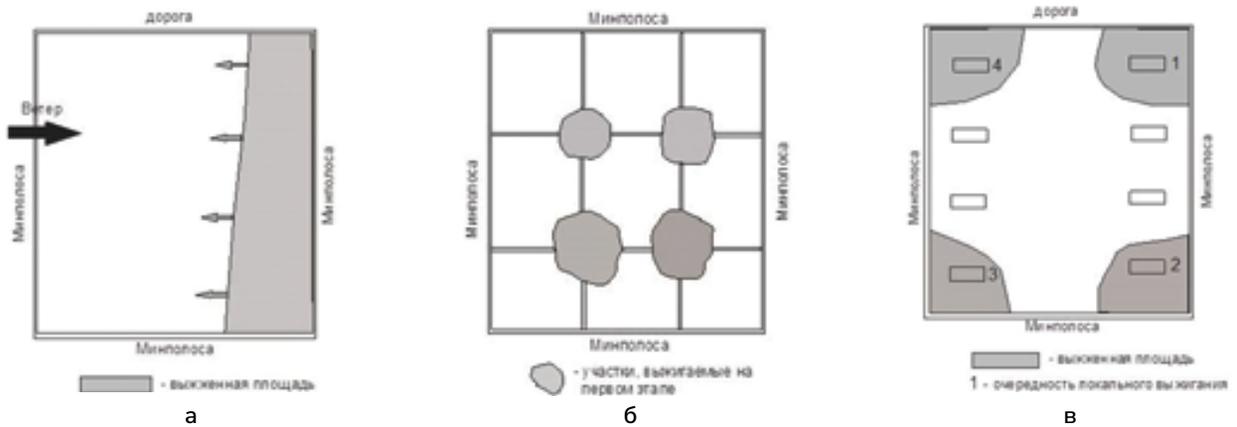
Технологии выжигания вырубок включают методы выжигания и способы зажигания или пуска огня. Выбор того или иного метода выжигания обусловлен метеоусловиями и типом леса вырубленного древостоя. Параметры горения при выжиганиях, кроме метеоусловий, зависят от рельефа, влагосодержания и запаса различных видов порубочных остатков, а также от их расположения. Перед выжиганием вырубку обследуются, разрабатывается план выжигания и проводится противопожарное устройство вырубок согласно требованиям безопасности для исключения выхода огня за границы вырубki. Контролируемые выжигания вырубок должны проводиться при определенных состояниях окружающей среды, которые позволяют сдерживать распространение горения заданной интенсивности и скорости распространения в заранее намеченных границах для снижения пожарной опасности.

Контролируемые выжигания на вырубках рекомендуется проводить следующими тремя методами: сплошного пала, поэтапного выжигания и локального выжигания (рис. 2).

**Метод сплошного пала** (рис. 2а) целесообразно использовать там, где площадь вырубki не превышает 10–20 га, на ней отсутствует подрост, имеются семенные куртины, куртины недорубленных деревьев и другие объекты, не подлежащие воздействию огня, а вырубка надежно изолирована от окружающих участков минерализованными полосами.

**Метод поэтапного выжигания** (рис. 2б) целесообразно применять на вырубках, где большая часть крупных порубочных остатков сосредоточена в кучах. На первом этапе выжигаются только кучи порубочных остатков, а на втором этапе — порубочные остатки на оставшейся части вырубki. Выжигание проводят в два этапа. На первом этапе выжигают участки с большим запасом порубочных остатков (разделочные площадки, волока и др.). Это можно делать при I–II классах пожарной опасности по условиям погоды или в период полного развития трав и кустарничков. Второй этап проводят при III классе пожарной опасности, когда мелкие и средние по крупности древесные горючие материалы успевают хорошо высохнуть.

**Метод локального выжигания** (рис. 2в) применяется на вырубках, где имеются локальные скопления порубочных остатков и присутствуют куртины жизнеспособного подроста. Метод эффективен при расположении на вырубке куртин подроста и деревьев, которые необходимо со-



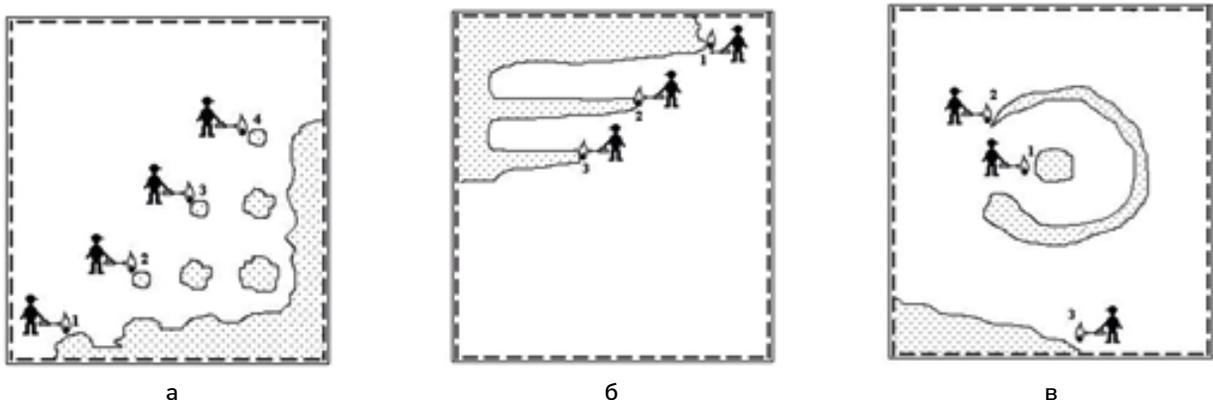
**Рис. 2.** Методы контролируемых выжиганий вырубок: а) сплошным палом, б) поэтапным выжиганием, в) локальным выжиганием

хранить, и при необходимости обеспечить пожарную безопасность в сложных метеоусловиях и не допустить распространения высокоинтенсивного горения. В этом случае прокладывают дополнительные минерализованные полосы и под их защитой проводят выжигание на отдельных участках, изолированных друг от друга.

Способы зажигания горючих материалов на вырубке зависят от многих факторов: целей выжигания, погоды, рельефа, запасов порубочных остатков и характера их размещения, пожароопасности прилегающих к вырубке участков, надежности заградительных полос и естественных барьеров, наличия сил и средств. Способы зажигания определяют интенсивность контролируемого выжигания.

При выжигании вырубок используются три основных способа зажигания, имеющие ряд разновидностей: точечный, линейный, кольцевой или комбинированный (рис. 3).

**Точечный способ** (рис. 3а). Зажигание проводится в отдельных точках вырубке. В первую очередь, зажигаются скопления крупномерных порубочных остатков (на разделочных площадках, волоках, местах их складирования). Затем создаются многочисленные очаги на участках с меньшей захламленностью. При этом способе возможно повысить скорость выжигания и полноту сгорания горючих материалов. Метод наиболее эффективен при выжигании в период полного развития на вырубках травяно-кустарничкового яруса напочвенного покрова.



**Рис. 3.** Способы зажигания при контролируемых выжиганиях: а) точечный, б) линейный, в) кольцевой или комбинированный. Обозначения: — — минполоса, ☁ — площадь вырубке, пройденная огнем, — — — — — последовательность зажигания

## ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВЫЖИГАНИЙ НА ВЫРУБКАХ

Период пожароопасного сезона	III декада мая - I декада июня	II декада июня - I декада июля	II-III декада июля - I декада августа	II-III декада августа - I декада сентября
Класс пожарной опасности по условиям погоды	II-III	III	III-IV	III-IV
Показатель пожарной опасности, ед.	600-1600	1700-2000	2100-3000	3100-4000
Скорость ветра, м/с	< 2	< 3	< 4	< 5
Относительная влажность воздуха, %	< 60	< 40	< 30	< 30
Температура воздуха, °C	15-18	19-22	20-24	18-20

**Линейный способ** (рис. 3б). Зажигание проводится непрерывной линией огня с одной стороны участка вдоль минерализованной полосы. При этом образуется равномерная кромка огня (рис. 3б, линия 1). Этот способ оптимален при небольшой захламленности вырубki, равномерном размещении порубочных остатков и скорости ветра менее 1,5-2,0 м/с. Для ускорения процесса выжигания и регулирования интенсивности горения следующее зажигание проводят параллельно первой линии огня (рис. 3б, линия 2). При этом от расстояния между линиями огня зависит интенсивность кромки огня. После выгорания полосы между линиями огня 1 и 2 зажигают следующую линию огня, отступив на нужное расстояние от кромки огня (рис. 3б, линия 3). Это так называемое ступенчатое линейное зажигание. Завершающее зажигание проводят вдоль минерализованной защитной полосы с противоположной стороны участка.

**Кольцевой способ** (рис. 3в). Сначала зажигаются порубочные остатки в центре вырубki (рис. 3в, положение 1). После образования интенсивного очага горения отступают на расстояние 20-30 м от кромки огня и зажигают горючие материалы, двигаясь по окружности относительно основного очага горения (рис. 3в, положение 2). При необходимости проводят следующее зажигание. Завершающее зажигание проводят вдоль опорных минерализованных полос по периметру вырубki (Рис. 3в, положение 3).

На основании исходных данных и результатов экспериментальных выжиганий оптимальные условия проведения контролируемых выжиганий

на вырубках для различных периодов пожароопасного сезона приведены в таблице.

На основе проведенных исследований разработаны методики по применению контролируемых выжиганий на вырубках и покрытых лесом площадях, опубликованы статьи и монографии по проведенным работам, созданы учебные видеофильмы по профилактическим выжиганиям.

Опыт использования контролируемых выжиганий вырубок в Красноярском крае может быть полезен и для других регионов России.

### **Очистка вырубок с применением технологии контролируемых выжиганий — пока единственный эффективный и экономичный метод очистки мест рубок, содействия лесовосстановлению и предупреждения возникновения высокоинтенсивных пожаров.**

Дальнейшее совершенствование эффективных и экономичных технологий и методов контролируемых выжиганий, создание соответствующей законодательной базы для проведения профилактических выжиганий, подготовка специально обученных специалистов по проведению этих работ будут стимулировать внедрение их в практику лесопользования и лесопользования в лесах России.

# БАЗА ДАННЫХ ПО МИРОВОЙ ПИЛОТИРУЕМОЙ ПОЖАРНОЙ АВИАЦИИ



Филиал Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Центр лесной пирологии»

660062, г. Красноярск, ул. Крупской, д. 42

## Брюханов Александр Викторович

кандидат биологических наук,  
заведующий лабораторией лесной пирологии

тел.: (391) 247-47-74, bryukhanovav@firescience.ru

База данных по мировым специализированным средствам авиационного тушения содержит различную справочную информацию по 265 модификациям летательных аппаратов (ЛА), из которых 109 – действующие лесопожарные модели, 28 являются пока не реализованными проектами и прототипами (которые не дошли до производственного тушения) и еще 128 модификаций самолетов и вертолетов, которые на 2023 г. уже не эксплуатировались. Анализ каждой группы авиационной техники также весьма интересен, поскольку он позволяет выявить много важных для нашего времени особенностей и закономерностей.

Исходя из анализа информации, содержащейся в указанной выше базе данных, за все время (начиная с 1932 года в СССР), наибольшее количество пожарных модификаций ЛА, было произведено в США: 115 самолетов и 21 модификация вертолетов.

База данных позволяет легко проводить выборку как по летно-техническим характеристикам (по типу и мощности силовой установки пожарных самолетов и вертолетов, их взлетной массе, типу базирования), так и по специфическим пожарным характеристикам



Представление А.В. Брюхановым Базы данных по мировой пилотируемой пожарной авиации на конференции в Сибирской пожарно-спасательной академии

(количеству и объему пожарных баков, их месторасположению, годам эксплуатации) и другим критериям (Рис. 1 и 2).

Из анализа собранной информации выявлено, что наиболее востребованными остаются самолеты наземного базирования (независимо от класса грузоподъемности). Самолеты-амфибии сейчас существуют только в легком (грузоподъемностью до 5 тонн) и среднем классе (соответственно до 15 тонн). В вертолетной пожарной технике наиболее широко распространены тяжелые ЛА и средние многоцелевые, задействованные также для доставки людей и грузов к очагам пожаров. Среди самолетов и вертолетов наиболее востребованными в мире являются ЛА способные доставлять к пожарам от 5 до 15 тонн воды. Это связано с тем, что данные ЛА имеют сравнительно недорогую стоимость летного часа и относительно не прихотливы к аэродромному обслуживанию (рис. 3).

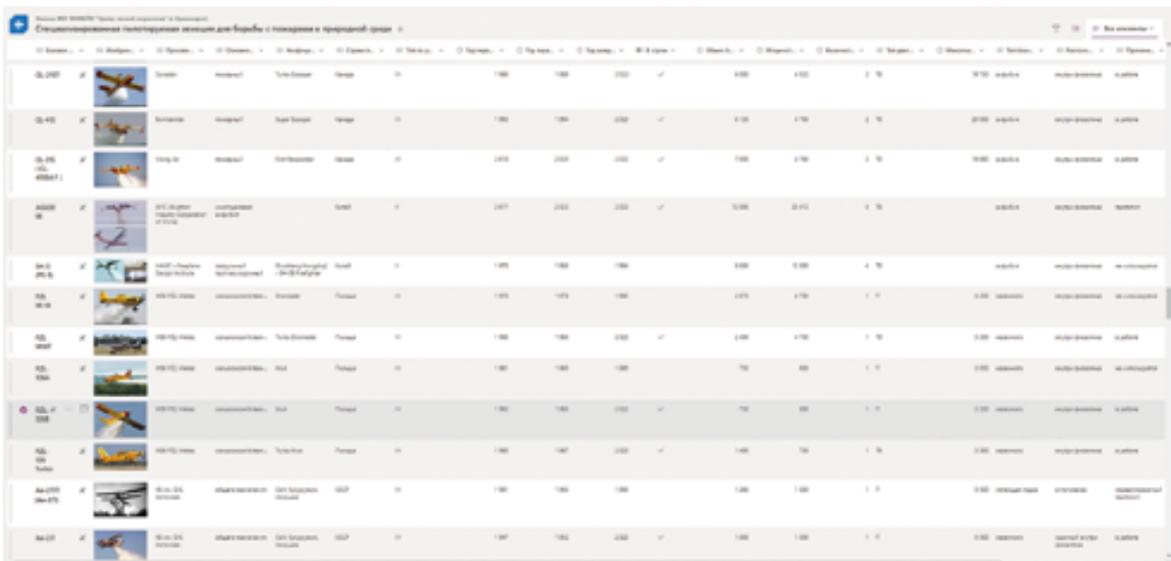


Рис. 1. Пример интерфейса Базы данных по мировой пилотируемой пожарной авиации

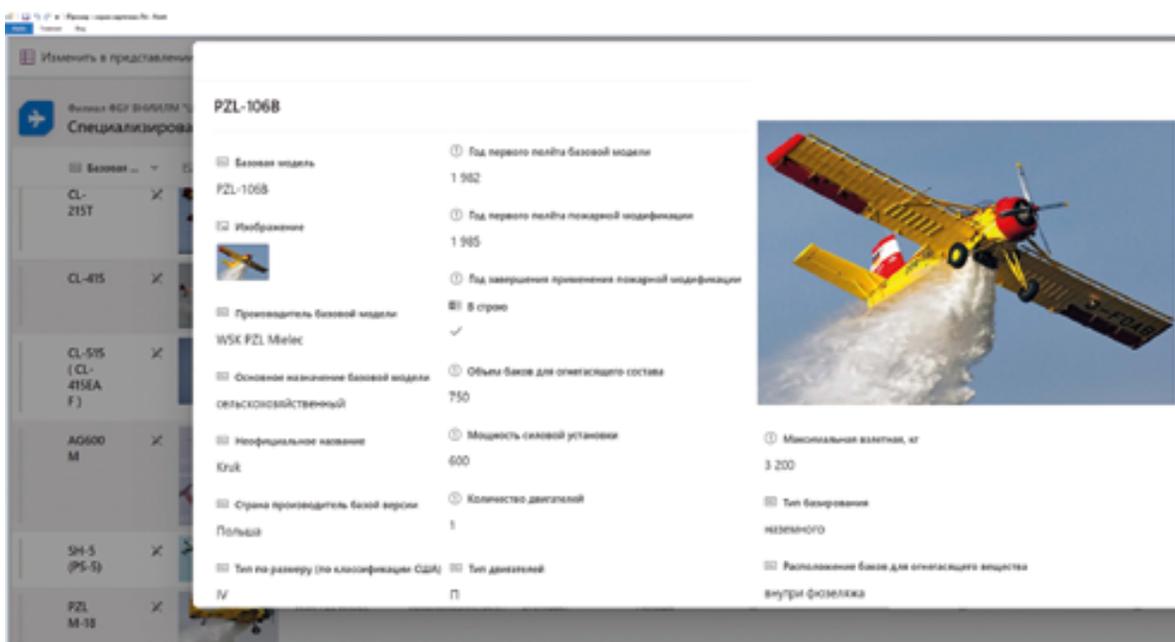
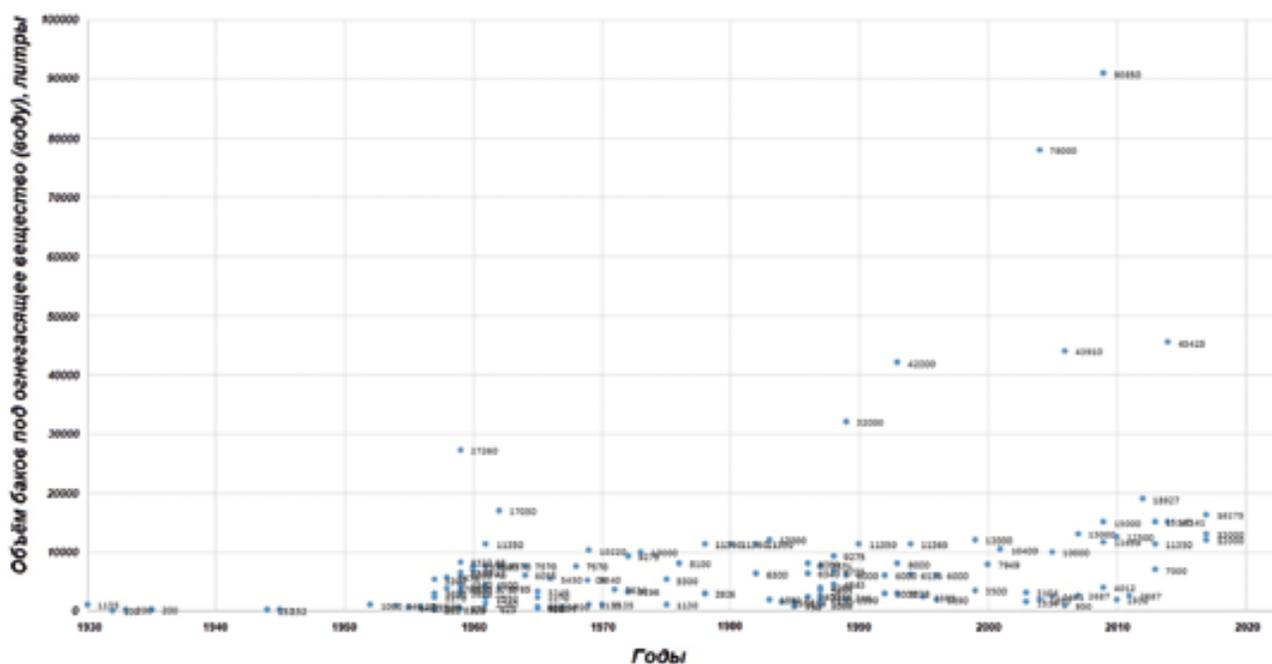


Рис. 2. Пример интерфейса карточки одного из пожарных самолетов

Кроме самолетов-авиатанкеров широко используются для тушения водными растворами лесных пожаров с воздуха и вертолеты. Возможность вертолета, зависать над одним местом, позволяет увеличить точность сброса огнегасящего раствора. В вертолетах встроенные резервуары под огнегасящий раствор используются гораздо реже, чем в самолетах, а для тушения в основном применяются водос-

ливные устройства (ВСУ) на внешней подвеске. В нашей стране наиболее широкое применение получили сливные устройства MBK-2; ВСУ-5 и ВСУ-5А для различных модификаций вертолетов Ми-8/Ми-17 и Ка-32, а также ВСУ-15 для Ми-26. Объем воды в ВСУ в зависимости от грузоподъемности вертолета может варьировать от 1,5 до 19,6 м<sup>3</sup>. В США и Канаде подобный объем обычно варьирует от 0,38 до 7,5 м<sup>3</sup>. Причем для



**Рис. 3.** Распределение появления во времени пожарных самолетов в соотношении с объемом перевозимой огнегасящей жидкости

одной и той же модели вертолета бывает возможно применение встроенного (стационарного) пожарного бака, его мобильной (модульной) версии или же применение ВСУ. При этом возможный объем перевозимой воды для тушения может различаться более чем на 30%.

В ходе проведенной работы выяснено, что в настоящее время самыми востребованными являются группы пожарных самолетов и вертолетов в категории от 5 до 15 тонн. Из современных трендов наблюдается переход от стационарного размещения пожарных баков к их мобильному исполнению, позволяющему сохранить универсальность и многозадачность использования ЛА. Также развиваются исследовательские работы по применению беспилотных летательных авиатанкерных аппаратов и отработке тушения на вертолетах в темное время суток (с приборами ночного видения). Однако самым массовым и важным трендом остаются работы по увеличению эффективности использования пожарных авиатанкеров. Самая массовая программа по оценке эффективности использования авиации на пожарах была развернута в США в 2012–2020 г. [3] в рамках «процесса использования и эффективности пожаротушения» (Aerial Firefighting Use and Effectiveness – AFUE Process). В контексте данной программы независимыми экспертами была оценена эффективность воздушного тушения для всех модификаций само-

летов и вертолетов, применяющихся в Северной Америке. По данным изучения нескольких тысяч сбросов для четырех десятков летательных аппаратов, были выработаны полезные рекомендации: производителям авиатанкерной техники, представителям государственных и частных служб и компаний, участвующим в борьбе с огнем на природных территориях. Подобный подход следует использовать и в нашей стране, прежде всего для изменения парадигмы применения пожарной авиации на крупных пожарах.

В настоящее время самыми востребованными являются группы пожарных самолетов и вертолетов в категории от 5 до 15 т. Как и в западных странах, России нужно переходить к политике оперативного использования пожарных самолетов и вертолетов в тушении с воздуха на самых ранних стадиях развития пожаров.

### Литература

1. Брюханов А.В., Коршунов Н. А. Авиационное тушение природных пожаров: история, современное состояние, проблемы и перспективы. // Сибирский лесной журнал. 2017. № 5. – С. 37–54.
2. Серебренников П.П., Матренинский В. В. Лесные пожары и борьба с ними. – Л.: Гослестехиздат, 1937. –183 с.
3. Aerial Firefighting Use and Effectiveness (AFUE) Report. U. S. Department of Agriculture (USDA), March 2020. – 46 p.



# Защита леса

44

Технология проведения профилактических мероприятий по защите лесов от сибирского шелкопряда

47

Методы и инструменты государственного лесопатологического мониторинга

54

Лесопатологический мониторинг в Байкальском регионе: проблемы и пути решения

57

Основы технологии защиты сосновых культур от восточного майского хруща

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ЛЕСОВ ОТ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА



Филиал Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Центр лесной пирологии»

660062, г. Красноярск, ул. Крупской, д. 42

## Агеев Александр Александрович

кандидат сельскохозяйственных наук,  
заведующий лабораторией защиты и воспроизводства лесов  
тел.: (391) 247-47-74, ageevaa@firescience.ru

## Астапенко Сергей Алексеевич

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
тел.: (391) 247-47-74, astapenkosa@firescience.ru

## Головина Анна Николаевна

инженер исследователь  
тел.: (391) 247-47-74, golovinaan@firescience.ru

## Шестопалова Анастасия Владиславовна

лаборант исследователь  
тел.: (391) 247-47-74, shestopalovaav@firescience.ru

Сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tchetv.) является одним из наиболее опасных вредителей таежных лесов России. По степени воздействия, экологическому и экономическому ущербу этот вид насекомого стоит на втором месте причин гибели таежных лесов после лесных пожаров. Регуляция численности



Рис. 1. Очаги сибирского шелкопряда

популяций сибирского шелкопряда — одна из основных задач современной науки и лесного хозяйства. Естественные враги — паразитоиды — остается ключевым фактором контроля численности *D. sibiricus*. В некоторых случаях паразитоиды полностью подавляют вредителя, являясь основной причиной затухания вспышки массового размножения. Однако в силу природных процессов ко времени, когда образуется популяция эффективных паразитоидов в очагах сибирского шелкопряда и значительно нарастит свою численность, вредитель успевает сформировать огромные по площади очаги.

В филиале ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии» разработана технология контроля численности сибирского шелкопряда, основанная на управлении естественными динамическими процессами в системе «хозяин — паразит», происходящими в биоценозах в разных фазах



**Рис. 2.** *Dendrolimus sibiricus* Tshetv

градационного цикла популяции сибирского шелкопряда, где ключевым является устранение эффекта запаздывания за счет своевременного внесения энтомофагов в формирующиеся очаги вредителя (Патент на изобретение №2811816).

Технология обеспечивает предупреждение возникновения вспышек массового размножения сибирского шелкопряда за счет проведения сезонной колонизации или внутриареального переселения специализированных паразитоидов в насаждения, подверженные риску возникновения очагов вредителя, тем самым обеспечивая сдерживание роста его численности. В качестве агентов биологической защиты используются два вида яйцеедов *Telenomus tetratomus* и *Trichogramma dendrolimi* – виды, широко распространенные в ареале шелкопряда и являющиеся наиболее эффективными. Использование яйцеедов в практике биологической защиты растений представляет наибольший интерес, поскольку позволяет обеспечить подавление вредителя на самой ранней стадии (в фазе яйца), исключая появление нового поколения гусениц фитофага.

Получение необходимого количества паразитоидов предусматривается по двум направлениям: малотоннажное производство *Trichogramma dendrolimi* на основе постоянной маточной культуры (заявка на изобретение № 2023133148), которая успешно поддерживается в биологической лаборатории, а также внутриареальное переселение яйцееда *Telenomus tetratomus* из действующих или затухающих очагов с опцией лабораторного доведения численности до необходимого количества.



**Рис. 3.** Маточная культура *Trichogramma dendrolimi* на яйцах сибирского шелкопряда

Практическое применение технологии при проведении профилактических мероприятий по защите лесов от сибирского шелкопряда, выполненных на двух участках с его повышенной численностью в Алтайском крае подтвердила свою эффективность. На первом участке выпущенные яйцееды уничтожили 65,1% кладок вредителя, на втором 58,1%, что в соответствии с действующим стандартом оценивается как хорошая. В дальнейшем за счет формирования устойчивой связи с вредителем яйцееды сохраняют свое присутствие на защищаемом участке, тем самым оказывая накопительное и пролонгированное действие (до нескольких лет и более).

Приоритетными объектами, где целесообразно проведение разработанной технологии, являются резервации, в которых отмечена положительная тенденция динамики численности вредителя, в лесах ООПТ, в водоохранных и лесопарковых зонах, в городских лесах и в 1, 2 зонах Байкальской природной территории.

Принимая во внимание, что сибирский шелкопряд для рассматриваемых яйцеедов не является единственным возможным хозяином, аналогичный подход в их применении возможен и против ряда других важных видов чешуекрылых вредителей лесных и сельскохозяйственных ценозов.

Разработанная технология может представлять интерес для региональных и муниципальных органов власти, задействованных в сфере управления лесами, природоохранных организаций, а также предприятий любой формы собственности, являющихся арендаторами участков лесного фонда.



**Рис. 4.** Выпуск *Trichogramma dendrolimi* с использованием биокапсул



**Рис. 5.** Зараженные яйцеедами кладки сибирского шелкопряда



**Рис. 6.** Коллектив «Центра лесной пирологии» во время экспедиционных работ в Северо-Енисейском районе, 2023 (слева на право): Брюханов А.В., Агеев А.А., Буряк Л.В., Астапенко С.А., Клюев А.А.



**Рис. 7.** Головина А.Н. Наблюдения за лабораторной культурой сибирского шелкопряда



**Рис. 8.** Шестопалова А.В. Наземные исследования в шелкопрядниках 1990-х годов

# МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА



Филиал федерального бюджетного учреждения «Российский центр защиты леса» – «Центр защиты леса Красноярского края»

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50 «а» корп. 2

## **Астапенко Сергей Алексеевич**

кандидат биологических наук, инженер-лесопатолог отдела защиты леса и государственного лесопатологического мониторинга

раб. тел.: (391) 290-51-74, [astapenkosa@rcfh.rosleshoz.gov.ru](mailto:astapenkosa@rcfh.rosleshoz.gov.ru)

## **Голубев Дмитрий Викторович**

начальник отдела дистанционных наблюдений и ГИС

раб. тел.: (391) 290-51-72, [golybevdiv@rcfh.rosleshoz.gov.ru](mailto:golybevdiv@rcfh.rosleshoz.gov.ru)

## **Шилкина Елена Алексеевна**

кандидат биологических наук, заместитель директора

раб. тел.: (391) 290-51-72, [shilkinaea@rcfh.rosleshoz.gov.ru](mailto:shilkinaea@rcfh.rosleshoz.gov.ru)

Полномочия Рослесхоза в области защиты и воспроизводства лесов на территории Российской Федерации возложены на ФБУ «Российский центр защиты леса», а на территории Красноярского края – на филиал ФБУ «Рослесозащита» – «Центр защиты леса Красноярского края». Общая площадь обслуживаемых филиалом лесов государственного лесного фонда составляет 162,4 млн га.

Ежегодно леса края подвергаются воздействию неблагоприятных факторов различного характера. По данным государственного лесопатологического мониторинга площадь поврежденных и погибших лесов в субъекте – одна из самых больших в Сибирском федеральном округе, и на начало 2023 года составляла 4 971,457 млн га. Основными причинами ослабления и гибели древостоев в Красноярском крае являются лесные пожары и повреждение насекомыми. Наибольшее хозяйственное значение для лесов края имеют такие хвое-листогрызущие вредители, как сибирский шелкопряд, непарный шелкопряд, шелкопряд монашенка, пихтовая пяденица, сосновая пяденица, а также относящиеся к группе стволовых вредителей полиграф уссурийский, шестизубчатый короед и усачи рода *Monochamus*. Помимо насекомых-вредителей, в числе других причин ослабления и гибели лесов – болезни, неблагоприятные климатические и антропогенные факторы.

Повреждение и гибель лесов во многом связаны с периодически повторяющимися вспышками массового размножения сибирского шелкопряда. С конца XIX века по сегодняшний день на территории края зафиксировано не менее 10 таких вспышек. Во время последней вспышки массового размножения этого вредителя площадь его очагов в крае превысила 1 млн га. Кроме этого, появление в начале XXI века в лесах Красноярского края инвазивного вредителя – полиграфа уссурийского – привело к значительному ухудшению санитарного состояния пихтовых древостоев.

С целью своевременного выявления опасных отклонений в динамике численности насекомых-вредителей леса и санитарном со-



**Рис. 1.** Учет количества бабочек сибирского шелкопряда, отловленных феромонной ловушкой

стоянии лесов региона филиалом ФБУ «Рослесозащита» – «Центр защиты леса Красноярского края» ежегодно ведется Государственный лесопатологический мониторинг (ГЛПМ), являющийся частью государственного экологического мониторинга. Он осуществляется как наземными, так и дистанционными методами и представляет собой целую систему наблюдений, анализа, оценки и прогноза состояния лесов и происходящих в них процессов.

Объектами для наземных методов служат древостои с нарушенной и утраченной устойчивостью и популяции насекомых-вредителей. В древостоях с нарушенной и утраченной устойчивостью проводится оценка санитарного и лесопатологического состояния с распределением деревьев по категориям санитарного состояния. Своевременное выявление опасных отклонений в динамике численности насекомых-вредителей осуществляется при ведении рекогносцировочного и детального надзоров. Для этих целей закладываются постоянные и временные маршрутные ходы, учетные площадки в подстилке, временные, постоянные и пробные площади и пункты учета, на которых вывешиваются феромонные ловушки для отлова летающих насекомых (рис. 1), производится околот модельных деревьев на полог для учета гусениц в кроне (рис. 8). Очаги массового размножения вредителей исследуются в рамках инвентаризации очагов, в ходе которой учитывается численность вредных видов, анализируются данные об их популяциях и нанесенных ими повреждениях.



**Рис. 2.** Определение скрытых гнилей в дереве с помощью резистографа

При проведении работ по мониторингу, кроме классических таксационных приборов, используется большой набор современного оборудования, позволяющий решать широкий круг задач. В частности, для фиксации выявленных отклонений в санитарном и лесопатологическом состоянии древостоев или популяциях вредителей используются GPS приемники, беспилотные летательные аппараты, компьютерные планшеты со специально разработанным обеспечением (рис. 7). Для выявления в стволах растущих деревьев скрытых гнилей, пустот и мест внутренних повреждений, применяется прибор RESISTOGRAPH®, для оценки характера деструкции древесины ствола живых деревьев используется импульсный 3D-томограф Арботом®. Оба прибора производства Германии.

При диагностике дерева с помощью резистографа осуществляется пробуривание дерева сверлом диаметром 1,5 мм (рис. 2). В процессе работы прибор считывает сопротивление древесины сверлению. Соответственно, здоровая древесина по своим свойствам является более плотной и хуже поддается бурению, в отличие от гнилой древесины или образовавшихся пустот в дереве. Полученный результат фиксируется в виде специальной диаграммы (резистограммы), с помощью которой можно определить, в какой степени дерево поражено гнилью, и является ли оно аварийно-опасным.

При методе звуковой томографии наличие скрытых гнилей в дереве определяется при помощи звукоулавливающих сенсоров, закрепленных по

окружности. При легком постукивании по каждому сенсору звук проходит через ствол дерева и улавливается остальными сенсорами. По здоровой древесине звук проходит быстрее, нежели по древесине, в которой произошли структурные изменения (гниение). Результатом такого исследования является томограмма ствола дерева с обозначенным участком стволовой гнили.

Важную роль в работе службы лесозащиты играют дистанционные методы исследования. Объектами для наблюдений с помощью дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) являются районы со сложной лесопатологической ситуацией, крупные очаги массового размножения насекомых-вредителей, гари и ветровальники, обследование которых наземными способами в силу объективных причин не представляется возможным. В труднодоступных же районах лесного фонда на территории Красноярского края дистанционные наблюдения и вовсе являются основным источником информации о состоянии лесов.

Использование космической съемки позволяет:

1. Определять категории (лиственные, хвойные) и породный состав лесов;
2. Выявлять участки повреждения и гибели лесных насаждений;
3. Определять границы повреждения лесов;
4. Составлять схемы поврежденных насаждений;
5. Проводить единовременную оценку площади поврежденных и погибших насаждений;
6. Производить ежегодный мониторинг площади поврежденных и погибших лесов;
7. Выявлять и прогнозировать неблагоприятные явления, оказывающие воздействие на лесные массивы (влияние вредителей и болезней, процессы иссушения или переувлажнения лесов, приводящие к их деградации и гибели), в целях учета этих процессов при планировании лесного природопользования.

Основные методы ведения дистанционных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов — это визуальное (экспертное) и автоматизированное дешифри-

рование. Визуальное заключается в распознавании объектов на снимке путем сопоставления изображения с имеющимися эталонами, знаниями и опытом самого дешифровщика. Это процесс, выполняемый исполнителем независимо от того, в каком виде представлен снимок (фотоотпечаток, изображение на экране монитора, изображение на специальных приборах). Автоматизированное дешифрирование представляет собой процесс компьютерной обработки данных ДЗЗ, основанный на распознавании образов, с минимальным участием эксперта в процессе работы над изображением.

Участки поврежденной лесной растительности характеризуются пониженной спектральной яркостью в ближней инфракрасной зоне, что объясняется уменьшением содержания хлорофилла в вегетативных органах усыхающих деревьев. Также для гарей и повреждений вредителями характерно повышение спектральной яркости в средней инфракрасной зоне. Оно, в свою очередь, объясняется уменьшением содержания влаги в листьях или хвое. В видимой зоне спектра для поврежденной растительности характерна более высокая, чем у здоровой, спектральная яркость. Это также объясняется уменьшением содержания хлорофилла, которое внешне проявляется в дефолиации и дехромации листьев при усыхании деревьев.

На перечисленных выше закономерностях основаны различные вегетационные индексы, а также комбинации каналов, позволяющие дешифрировать участки нездоровой растительности:

- Нормализованный разностный индекс растительности (NDVI)

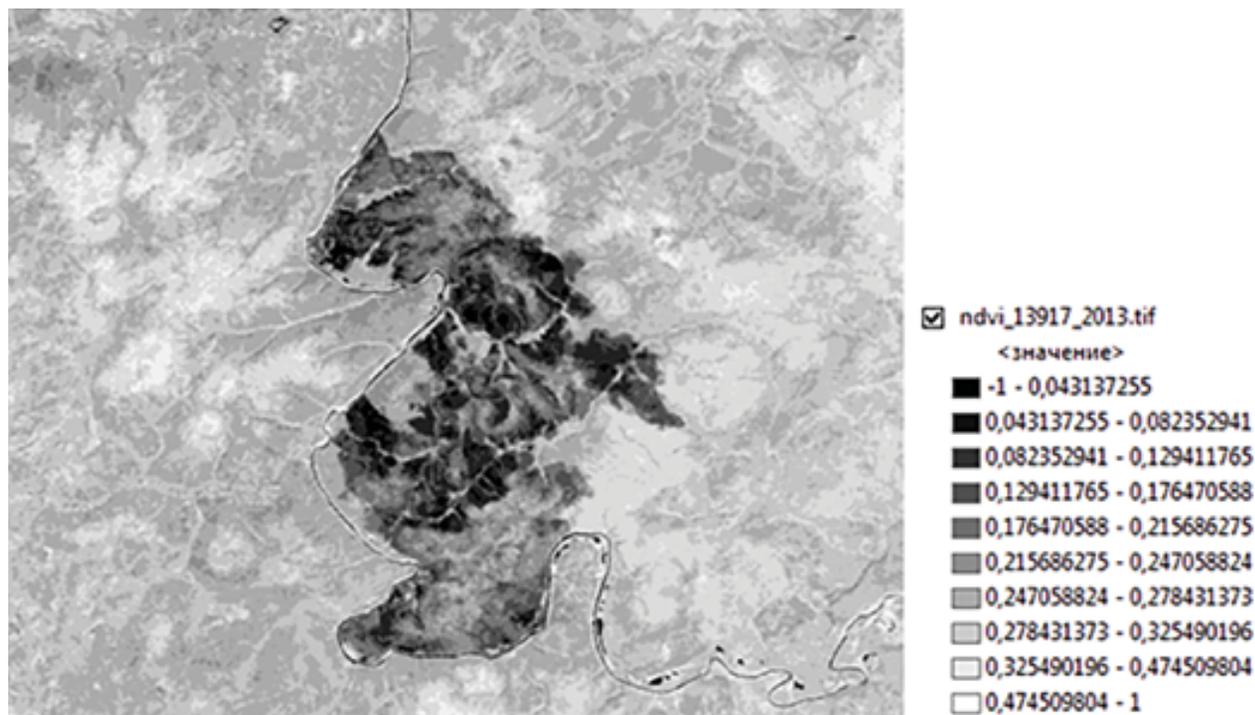
$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра, соответствующее каналу с диапазоном 0,76–0,9 мкм. RED — отражение в красной области спектра, соответствующее каналу с диапазоном 0,63–0,69 мкм.

- Нормализованный разностный индекс влажосодержания (SWVI)

$$SWVI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR),$$

где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра. SWIR — отражение в средней инфракрасной области спектра, соответствующее каналу с диапазоном 1,55–1,75 мкм.



**Рис. 3.** Использование индекса NDVI для дешифрирования гарей (Красноярский край, Тунгусско-Чунское лесничество)

- Усовершенствованный вегетационный индекс (EVI)

$$EVI = 2 \left( \frac{NIR - RED}{NIR + 6RED - 7.5BLUE + 1} \right)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра. RED – отражение в красной области спектра. BLUE – отражение в синей области спектра.

Индексы могут принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности обычны значения от 0.2 до 0.8 (рис. 3). Выбор представленных индексов зависит от конкретного снимка и поставленной задачи, и зачастую схожие по характеристикам изображения дают разные по качеству результаты.

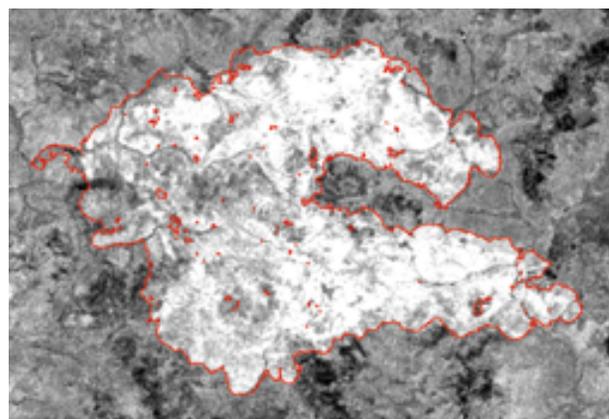
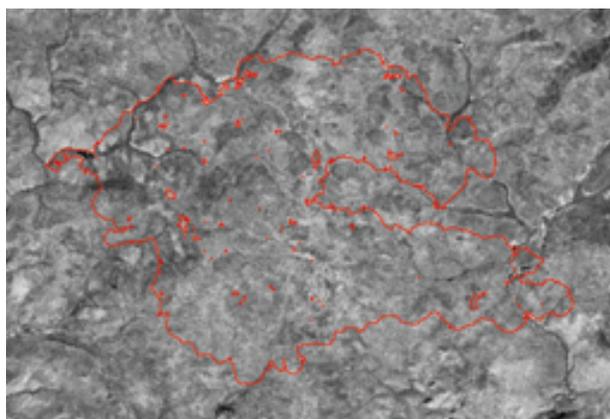
По итогам расчетов разностных индексов каждого из снимков, необходимо провести сравнение («вычитание») значений индексов по принципу «до – после»: индекс  $Change\_NDVI = NDVI_{pre} - NDVI_{post}$ ,

где  $NDVI_{pre}$  – индекс за период до повреждения,  $NDVI_{post}$  – индекс за период после повреждения. Аналогично индекс  $Change\_SWVI = SWVI_{pre} - SWVI_{post}$ .

Алгоритм основан на сравнении каждого пикселя разновременных снимков, отклонение значения индекса от нуля является признаком изменения состояния растительности в текущем и предыдущем годах (рис. 4).

На данный момент сотрудниками отдела дистанционных наблюдений и ГИС ЦЗЛ Красноярского края разработана методика автоматизированного дешифрирования с элементами визуального контроля результатов по снимкам высокого разрешения, с использованием закономерностей, приведенных выше. Данная методика позволяет с вероятностью в 75–80% обнаруживать поврежденные участки. Распознавание лесных повреждений и определение категорий санитарного состояния деревьев и насаждений производится на основе признаков дешифрирования, которые формируются в зависимости от размеров лесопатологических объектов и спектральных свойств отраженной от крон деревьев или лесного полога солнечной радиации.

Благодаря своей актуальности, оперативности, высокой точности и информативности, данные дистанционного зондирования широко используется во всех сферах земле- и лесопользова-



**Рис. 4.** Использование разностного индекса Change\_NDVI для дешифрирования гарей (снимок до повреждения – слева, после повреждения – справа, Красноярский край, Байкитское лесничество)

ния. Это незаменимый инструмент для целей защиты, охраны и мониторинга состояния лесных насаждений. Методы дистанционного мониторинга позволяют быстро и достаточно эффективно оценивать санитарное состояние крупных лесных массивов, выделять наиболее значимые очаги ослабления (повреждения, усыхания), давать им первоначальную количественную и качественную оценку, которую затем рекомендуется использовать при наземном надзоре и обследованиях.

Особая роль в работе отведена лабораторным методам изучения лесного биогеоценоза. С этой целью в организации имеются специалисты и оборудование для проведения исследований по фитопатологии, энтомологии, почвенного плодородия, генетики и других направлений.

Генетический мониторинг является актуальным современным подходом к изучению состояния лесов, лабораторные методы которого помогают в решении задач идентификации фитопатогенов и вредителей, подготовке доказательной базы незаконности рубок, а в некоторых случаях – определения правильности назначения санитарно-оздоровительных мероприятий. Часть методик внедряется и дорабатывается собственными усилиями специалистов, включая разработку ДНК-маркеров.

В области фитопатологии преимуществом генетического анализа перед остальными группами методов являются ранняя диагностика болезней, точность определения и быстрота выполнения работ. Особая актуальность применения ДНК-маркеров связана с возможно-



**Рис. 5.** Один из этапов генетического анализа растений хвойных пород

стью непосредственной оценки зараженности выращиваемого материала (рис. 5), анализа эффективности проведения профилактических и защитных мероприятий, выявления потенциальных источников инфекции (почвы, воды, насекомых и др.).

ДНК-анализ также позволяет быстро и точно установить вид насекомого на любой стадии его развития от яйца до имаго, эффективен в случае сложной фенотипической дифференциации. В настоящий момент хорошо отработана методика определения расы непарного шелкопряда – опасного вредителя леса – по анализу митохондриального гена, отвечающего за синтез фермента цитохром-С-оксидазы, что имеет большое практическое значение, учиты-

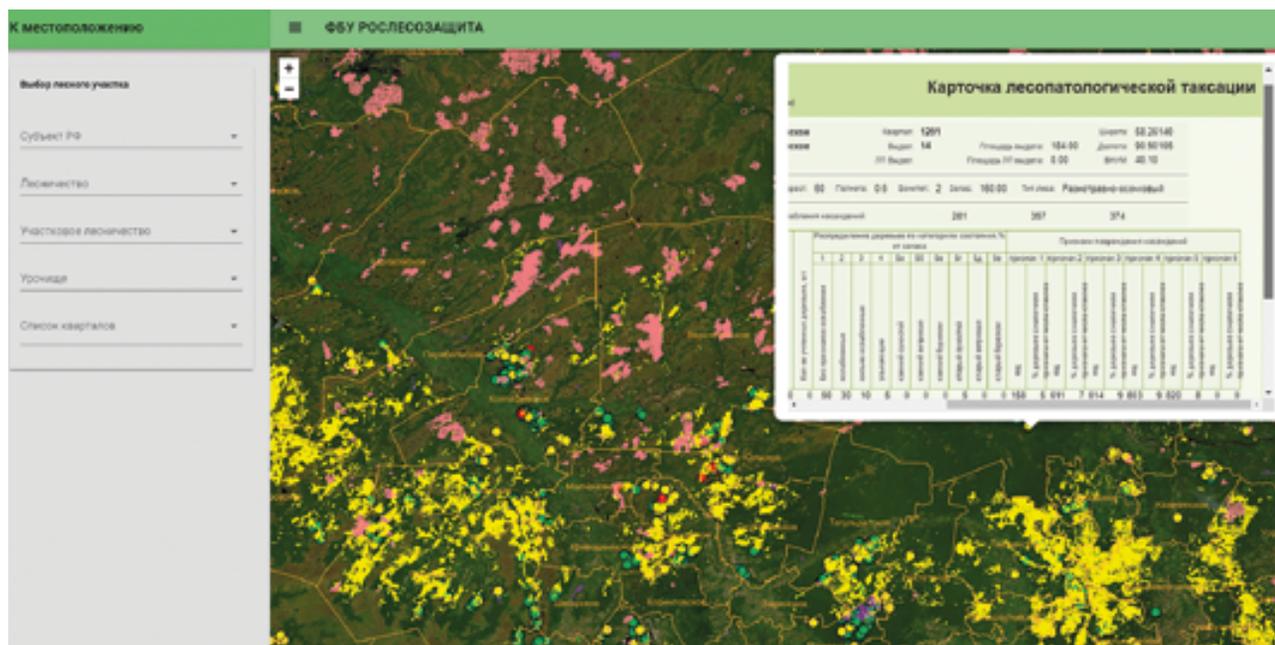


Рис. 6. Фрагмент картографического отображения результатов работ по ГЛПМ на геопортале

вая, что азиатская раса непарного шелкопряда является карантинной. Есть возможность определять и болезни самих насекомых на предмет прогноза самозатухания очага. Так, в 2022 г. в погибших гусеницах сибирского шелкопряда выделен и идентифицирован с достоверностью 99,6% микроскопический энтомопатогенный гриб вида кордицепс военный (*Cordyceps militaris* (L.) Link).

В рамках автоматизации рабочих процессов по основным производственным направлениям лесозащиты специалистами проводятся работы по созданию и усовершенствованию автоматизированных аналитических систем (ААС).

Пространственная информация результатов полевых работ всех филиалов Российского центра защиты леса отображается на картографическом WEB-сервере «ГИС ЛПМ ФБУ «Рослесозащита»» (рис. 6). Данный ресурс является закрытым порталом, защищенным паролем, и доступен специалистам с любого компьютера, подключенного к сети интернет. На геопортале представлены данные о планировании работ по государственному лесопатологическому мониторингу, результаты дешифрирования космической съемки методами дистанционных наблюдений, обновляемые ежеквартально, и данные выборочных наземных наблюдений за санитарным состоянием

лесов и регулярных наземных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов, обновляемые ежемесячно.

В целях совершенствования систематизации данных (создания единой базы) и осуществлению контроля за достоверностью сведений о санитарном и лесопатологическом состоянии лесов и обоснованности мероприятий, предусмотренных актами лесопатологического обследования, утвержденными уполномоченными органами государственной власти субъектов Российской Федерации, разработана и введена в эксплуатацию автоматизированная аналитическая система «ГЛПМ-контроль». Она стала дальнейшим развитием ААС «Контроль за достоверностью сведений, содержащихся в актах лесопатологических обследований». В новой системе произведен ряд улучшений, повышающий скорость обработки данных и эффективность работы пользователей. Кроме того, разработаны и внедрены в систему ряд отчетов, существенно упрощающих и ускоряющих процессы работы сотрудников.

Результаты лабораторных генетических методов также вносятся в единую автоматизированную систему – «Лесная генетика». Среди задач, решаемых данной системой в рамках лесопатологического мониторинга – получение данных о географическом распределении измен-

чивости видов лесных растений на их ареалах в масштабах РФ, подтверждение достоверности происхождения круглой древесины, информация о наличии и видовом составе фитопатогенов в лесных питомниках и другие.

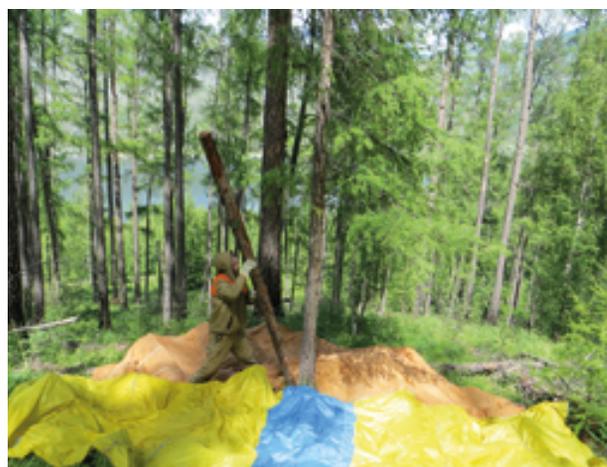
Специалисты Красноярского центра защиты леса активно взаимодействуют с организациями лесохозяйственного и лесозащитного профиля, с отраслевой и академической наукой и образованием для обмена опытом и знаниями, привлечения новых методов и технологий в практику лесозащиты. Центр является одной из сторон соглашения о стратегическом партнерстве и сотрудничестве с Министерством природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края, ФИЦ «Красноярский научный центр» Сибирского отделения Российской академии наук и крупнейшими высшими учебными заведениями г. Красноярска — СибГУ им. М. Ф. Решетнева и Сибирского федерального университета.

На протяжении многих лет филиал активно взаимодействует с указанными вузами в рамках подготовки специалистов лесной отрасли. Помимо филиалов кафедр Института лесных технологий СибГУ им. М. Ф. Решетнева, была открыта базовая кафедра «Защиты и современных технологий мониторинга лесов» Сибирского федерального университета для проведения практических занятий и научных исследований. Филиал активно сотрудничает и содействует работе Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, ФАУ ДПО «Институт повышения квалификации работников лесного хозяйства», Дивногорского техникума лесных технологий, научного отдела природного заповедника «Столбы», Филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии», Института систематики и экологии животных СО РАН (г. Новосибирск), научно-исследовательских институтов, подведомственных Рослесхозу. Филиал также самостоятельно поддерживает и осуществляет научные исследования и разработки. Сотрудники филиала активно ведут научную деятельность и развиваются в различных направлениях лесной науки, участвуют в конференциях и семинарах регионального, федерального и международного уровней. В настоящий момент в организации трудятся 5 кандидатов наук.

Таким образом, сочетание наземных, космических и лабораторных методов мониторинга, цифровая автоматизация этих процессов, а также неразрывное взаимодействие с науч-



**Рис. 7.** Внесение данных о санитарном состоянии насаждения в наладонный компьютер инженером-лесопатологом при ведении государственного лесопатологического мониторинга



**Рис. 8.** Околот модельного дерева на полог. Один из методов учета численности хвое- и листогрызущих вредителей при ведении государственного лесопатологического мониторинга

ными и отраслевыми институтами, повышение уровня своих компетенций позволяют развивать и улучшать краевую и отечественную систему лесозащиты, оперативно выявлять древостой, подвергшиеся воздействию различных неблагоприятных факторов, оценивать масштабы нарушений, давать прогноз изменения лесопатологической ситуации и рекомендовать пути улучшения санитарного состояния лесов.

# ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ



Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений Сибирского  
отделения Российской академии наук  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132

## **Воронин Виктор Иванович**

доктор биологических наук, директор

моб. тел.: +7-914-888-13-65, раб. тел.: (3952) 42-65-40,  
bioin@sifibr.irk.ru

## **Морозова Татьяна Иннокентьевна**

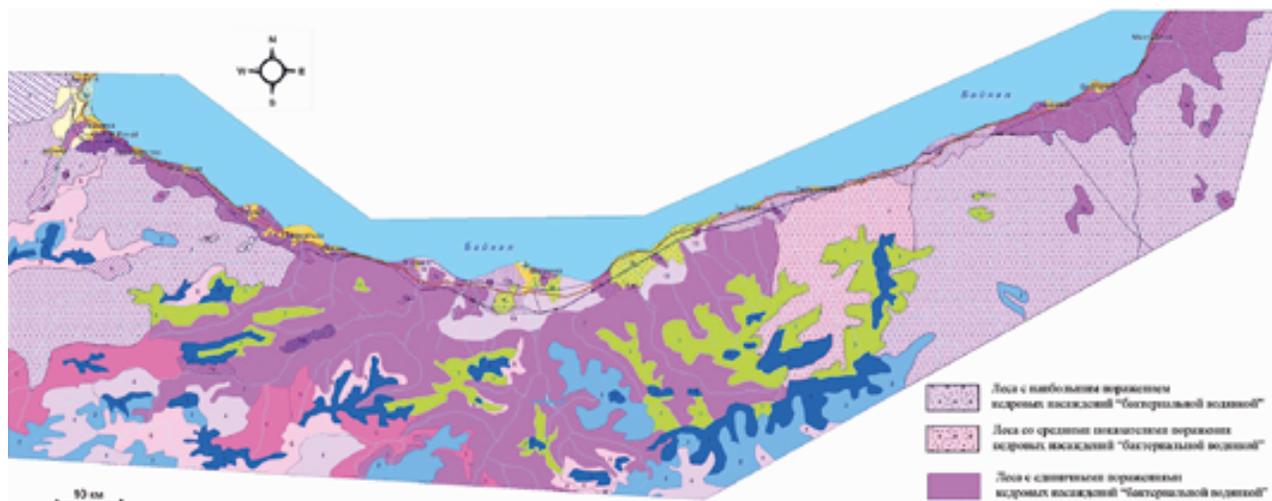
кандидат биологических наук, ведущий технолог

тел.: +7-914-914-98-06, ti.morozova@mail.ru

На протяжении последних лет наблюдается устойчивое ухудшение санитарного состояния темнохвойных лесов Южного Прибайкалья (хребет Хамар-Дабан). Масштабы явления весьма значительны, и счет идет на сотни тысяч гектаров. Симптоматика ряда характерных признаков: куртинное ослабление и усыхание деревьев, мозаичное повреждение (дехромация хвои) кедра и пихты, поперечные и продольные трещины в коре и активное истечение экссудата/смолотечение из них; наличие на поперечном срезе древесины ствола деревьев всех категорий состояния «мокрого ядра», а у сильно ослабленных и недавно усохших деревьев — характерного «темного водослоя» дала основание для диагностики повреждения темнохвойных древостоев в Иркутской области и Бурятии бактериальными агентами (Воронин и др., 2013).



Снятие диэлектрических характеристик поврежденных деревьев фурье-спектрометром при натурном обследовании. Слева директор СИФИБР СО РАН, д. б. н. В.И. Воронин, справа — Старший научный сотрудник ФИЦ КНЦ СО РАН, к. т. н. А.В. Ковалев



**Рис. 1.** Оценка поражения кедровых лесов южного побережья оз. Байкал бактериальной водяной хвойных. Автор карты к.г.н. А.П. Софронов (Воронин и др., 2019)

По результатам комплексного обследования лесов Сибирским институтом физиологии и биохимии растений СО РАН, Институтом леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Институтом мониторинга экологических и климатических систем СО РАН и Институтом географии им. В. Б. Соцавы СО РАН установлено, что в среднегорном лесном поясе, где в прежние годы шло активное развитие бактериальных болезней, погибшие деревья кедров составляют 30% древостоя и более, деревья с повреждением кроны 5–10% составляют 7%–10%, с повреждением кроны 11–40% до 25% и до 40% древостоя составляют деревья с повреждением кроны более чем на 40%. Погибшие деревья затем активно заселяются стволовыми вредителями.

По результатам обследования была составлена карта-схема поражения лесных массивов Южного Прибайкалья бактериальной водяной и произведена оценка масштабов повреждения. Наиболее поврежденные леса (сухостоя больше 30%) занимают площадь 1950 км<sup>2</sup>; среднеповрежденные (сухостоя до 30%) — 310 км<sup>2</sup> и леса с единичными очаговыми повреждениями — 1370 км<sup>2</sup> (рис. 1).

В настоящее время есть все основания предполагать, что эпидемия бактериальной болезни темнохвойных пород в лесах Хамар-Дабана перешла в латентную стадию, и существенного расширения масштабов повреждения не будет. В то же время большую опасность представляет наличие в составе древостоев значи-

тельного количества сухостоя кедров и деревьев с повреждением кроны более 40%, которые при возникновении повышенной пожарной опасности станут причиной крупномасштабных лесных пожаров.

Кроме широкомасштабного повреждения темнохвойных лесов в среднегорном поясе бактериальной водяной, в настоящее время возникла угроза тотального повреждения и гибели пихтовых массивов в низкогорной части Хамар-Дабана. В 2018 году в двух участках Утуликской лесной дачи Байкальского участкового лесничества и Слюдянского лесничества был обнаружен опаснейший инвадидер, вредитель пихты — уссурийский полиграф, пришедший с Дальнего Востока, который привел к усыханию обширных массивов пихтовых лесов в Центральной Сибири. Вторжение его в пихтовую тайгу Южного Прибайкалья произошло не позднее 2004 г. В последние годы вредитель успел из припоселкового леса Утулика перейти в пихтовые массивы на прилегающих склонах Хамар-Дабана, что сделало невозможным проведение санитарно-оздоровительных мероприятий. В 2021 г. вредитель был отмечен в разных локациях на протяжении всего хребта Хамар-Дабан. По оценочным данным до половины деревьев в этих древостоях погибнет.

Развитие двух серьезных угроз, таких как произошедшая эпидемическая вспышка бактериальной водяной и начавшаяся инвазия уссурийского полиграфа, в корне меняет лесо-



**Рис. 2.** Культура *Pectobacterium cartovorum* — возбудитель бактериальной водянки хвойных, выращенная на МПА (световой инвертированный флуоресцентный микроскоп AxioObserverZ1, Carl Zeiss, Germany, x1600)

патологическую ситуацию — под угрозой оказывается существование темнохвойных лесов Южного Прибайкалья как экосистемы. Практически все темнохвойные леса Хамар-Дабана в ближайшие пять лет будут существенным образом повреждены, а пожароопасная ситуация станет чрезвычайной.

### Заключение

Профилактические мероприятия по противостоянию этим угрозам уже невозможны, и следует разработать меры по снижению потенциального урона в наиболее селеопасном районе Южного Прибайкалья, где расположены важные или опасные инфраструктурные объекты, в частности, ВСЖД и очистные сооружения БЦБК. В 1971 г. в результате обильных дождей селями были нарушены значительные участки ВСЖД, тогда как лес был в то время в полной сохранности и выполнял средорегулирующие функции в полном объеме. Наличие большого количества сухостоя кедров в среднегорном поясе Хамар-Дабана неизбежно приведет в ближайшие годы к крупномасштабным пожарам. А вскоре к кедровым, усохшим от бактериальной водянки, добавятся пихтовые массивы, погибшие от уссурийского полиграфа. Склоны Хамар-Дабана обнажатся, и селевые события вскоре проявятся. Поэтому необходимо оперативное изъятие усохших деревьев в виде противопожарных разрывов для снижения этой угрозы.

Способность кедров (а вскоре и пихты) к естественному лесовозобновлению радикально снизилась, и через десятилетие темнохвойные леса почти со стопроцентной вероятностью начнут заменяться малоценными березово-осиновыми древостоями. Для сохранения хотя бы части темнохвойных лесов необходима организация массивов искусственного лесовосстановления, для чего нужно срочным образом начать закладку питомников по выращиванию кедров, пихты и ели. Вблизи центральной экологической зоны Байкальской природной территории нет ни одного лесопитомника по выращиванию данных лесных пород.

В настоящее время за санитарное состояние лесов отвечает уполномоченный орган — ФБУ «Рослесозащита», который имеет в своем составе ряд филиалов «Центр защиты леса» в субъектах Федерации. Эти центры малочисленны и не имеют в своем составе достаточного количества профессиональных лесопатологов. В то же время в последние десятилетия в лесах России происходят широкомасштабные вспышки размножения насекомых-вредителей и бактериальных болезней. Оперативно установить масштабы поврежденных лесов и наметить необходимые санитарно-оздоровительные мероприятия Центрам защиты леса не по силам. В результате ситуация выходит из-под контроля, упускаются сроки проведения санитарно-оздоровительных мероприятий, и леса несут огромный урон.

Существует необходимость формирования Рослесозащитой специализированных лесоустроительных предприятий, которые можно оперативно выдвигать в районы возникновения сложной лесопатологической обстановки для широкомасштабного обследования и назначения мер по улучшению санитарного состояния лесов. Это, скорее всего, единственное мероприятие, способное каким-то образом противостоять болезням леса и нападением вредителей, в частности, в Байкальском регионе.

### Литература

1. Воронин В. И., Морозова Т. И., Ставников Д. Ю., Нечесов И. А., Осолков В. А., Буянтуев В. А., Михайлов Ю. З., Говорин Я. В., Середкин А. Д., Шуварков М. А. Бактериальное повреждение кедровых лесов Прибайкалья // Лесное хозяйство. — 2013. — № 3. — С. 39–41.
2. Воронин В. И., Софронов А. П., Морозова Т. И. и др. Ландшафтная приуроченность бактериальных болезней темнохвойных лесов хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Геогр. и прир. ресурсы. — 2019. — № 4. С. — 56–65.

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ СОСНОВЫХ КУЛЬТУР ОТ ВОСТОЧНОГО МАЙСКОГО ХРУЩА



Федеральное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства

141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15

## Гниненко Юрий Иванович

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией защиты леса от инвазивных и карантинных организмов

тел.: +7-903-164-28-60, yuivgnin-2021@mail.ru

## Галич Дмитрий Евгеньевич

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией защиты леса Сибирского филиала ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства»

galichdim@mail.ru

## Банникова Ольга Александровна

кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель группы лесоводства, вредителей и болезней леса Южно-европейского филиала ФБУ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства

olga\_kowalewa@mail.ru

## Цуканов Яков Вячеславович

аспирант ФБУ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства

sadness666master@gmail.com

## Алпацкая Юлия Ивановна

аспирант ФБУ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства

alpatskaya88@mail.ru

**Восточный майский хрущ вновь после нескольких десятилетий низкой численности вновь увеличивает свою вредоносность, и это требует разработки новых технологий защиты от него.**

## История

Длительное время, начиная со средних веков и до второй половины XX века, майский хрущ был самым распространенным и опасным вредителем лесного хозяйства. Его личинки наносили столь сильные повреждения корневым системам сосен в создаваемых искусственных посадках, что на территории ряда регионов страны (в особенности в Поволжье и в Западной Сибири) было невозможно успешное проведение лесовосстановления (Павлинов, 1971). Очаги массового размножения хруща в середине XX века в России действовали на огромных площадях (Трошанин, 1966). Однако благодаря разработанной технологии облесения захрущевленных площадей (Троицкий, 1971; Рекомендации, 1980) ущерб от хруща первоначально сильно сократился, а затем площади его очагов существенно сократились, что уже в конце XX века лесоводы стали забывать об этом опасном насекомом как о грозном вредителе.

В настоящее время из практики создания лесных культур практически полностью исчезли такие ранее обязательные работы, как раскопки почвы для установления численности личинок



**Рис. 1.** Высаженный весной посадочный материал с корнями, поврежденными личинками хруща к концу вегетационного сезона

хруща перед посадкой культур. Действующими в настоящее время Правилами лесоразведения (Об утверждении, 2021) предусмотрена предпосадочная обработка посадочного материала растворами препаратов для защиты от повреждения вредными организмами, но эта работа не может быть проведена из-за отсутствия разрешенных препаратов. Все эти обстоятельства привели к тому, что сейчас вновь стали все сильнее проявляться признаки нарастания численности хруща, и в некоторых регионах страны начали формироваться новые его очаги (Гниненко и др., 2023). Все это требует разработки новых современных подходов к защите леса от хруща.

Возрастающая роль восточного майского хруща как опасного вредителя искусственных посадок сосны создает в настоящее время уникальную ситуацию, при которой в уже имеющихся его очагах нет возможности провести любые защитные мероприятия потому, что полностью отсутствуют разрешенные для применения по этому вредителю пестициды, и по этой причине нет современных технологий защиты культур.

**Области возможного использования**

Разрабатываемые в настоящее время современные технологии защиты сосны от личинок восточного майского хруща будут востребованы лесным хозяйством всех регионов, где происходит рост численности этого вредителя и формируются его очаги массового размножения и вредоносности.



**Рис. 2.** Проведение почвенных раскопок

**Степень готовности разработки к практическому применению**

Выполняемые во ВНИИЛМе технологические разработки в рамках выполнения государственного задания по теме НИР 1-321 «Разработка технологии защиты сосновых культур от майского хруща и других почвообитающих вредителей» вступают в завершающую стадию, и в конце 2024 г. будет разработана технология защиты культур сосны на основе применения разрешенных для выполнения таких мероприятий пестицидов. Такая разработка в течение 2025–2026 гг. должна пройти производственную проверку и по ее результатам в нее будут внесены необходимые дополнения и изменения.

**Преимущества и уникальность**

Основным преимуществом разрабатываемой технологии станет использование новых современных пестицидов теми способами, которые покажут возможность получения стабильных и надежных результатов.

**Новизна**

Разрабатываемая технология защиты сосновых культур от восточного майского хруща будет первой технологической разработкой по защите от хрущей за последние почти 50 лет после того, как ВНИИЛМом в 1980 г. была предложена последняя в XX веке технология защиты от этого вредителя.



**Рис. 3.** Молодые сосенки с поврежденными хрущем корнями

### Контекст

Ранее защита леса от майского хруща включала в себя такие способы, как:

- обработка пестицидами мест питания жуков в кронах лиственных пород;
- затравка почвы пестицидами перед посадкой культур;
- внесение пестицидов с помощью разных технологических приемов во время посадки сосны;
- внесение пестицидов в междурядья уже созданных культур.

В настоящее время все эти технологии не могут быть применены в силу того, что в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для применения на территории России, нет ни одного разрешенного для использования по хрущу пестицида. Кроме того, невозможно проведение обработок мест питания жуков — они не могут быть отнесены к очагам массового размножения, поскольку хрущ в них только питается, практически не встречаясь в почве этих участков. Такие территории не могут быть включены в реестры действующих очагов и в них не могут быть назначены обработки.

Ранее одной из важных мер борьбы с майским хрущом были именно авиационные обработки по питающимся жукам. Так, И.В Тропин (1962)



**Рис. 4.** Личинка майского хруща третьего возраста

пишет: «для борьбы с жуками проводится наземное и авиационное опыливание 12%-ным дустом ГХЦГ с нормой расхода 15–20 кг на 1 га» (Тропин, 1962). Практическое применение ядохимикатов против питающихся жуков началось в России давно: так, С. С. Деев в 1939 г. провел в одном из участков Хреновского бора полевую опыт по наземному опыливанию кормовых деревьев кремнефтористым натрием в период дополнительного питания жуков. Расход яда из расчета 45–60 кг на 1 га вызвал массовую гибель жуков уже через 6–9 часов, но действие яда продолжалось до 6 дней, и в конечном результате смертность жуков была близка к 100% (Трошанин, 1966).

В настоящее время невозможно проведение также затравки почвы пестицидами. Ранее для уничтожения личинок перед посадкой культур в почву вносили такие сильные ядохимикаты, как ДДТ, ГХЦГ, хлорофос и даже нафталин (Головянко, 1941). Эти препараты вносили, например, с применением туковых сеялок путем опыливания поверхности всей подлежащей закультивированию площади, и затем проводили его запахивание на глубину порядка 25 см, при этом норма внесения дустов составляла для песчаных и супесчаных почв 60–80 кг/га (при наличии в почве личинок 1–2 возрастов) и 100–120 кг/га (по личинкам старших возрастов); для суглинков норму расхода увеличивали до 90–120 и 150–180 кг/га соответственно; на черноземах норма внесения была рекомендована в 120–160 и 200–240 кг/га. При этом указывалось, что

**ТАБЛИЦА 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРЕПАРАТЫ, РАЗРЕШЕННЫЕ К ПРИМЕНЕНИЮ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ХРУЩЕЙ В СССР**

Технология	Препараты
<b>Затравка почвы пестицидами:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• сплошное предпосевное внесение с последующей запашкой</li> <li>• ленточное ручное и механизированное внесение</li> </ul>	ДДТ, гексохлоран, хлорофос
<b>Предпосадочная обработка корней:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• опудривание корней дустами</li> <li>• обмакивание корней в жижи</li> </ul>	ДДТ, гексохлоран, хлорофос
<b>Борьба с жуками во время питания:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• авиационное применение пестицидов</li> <li>• аэрозольное применение</li> </ul>	ДДТ, гексохлоран, хлорофос, бактериальные препараты

пестицид будет сохранять свою токсичность в почве в течение 3–5 лет (Трошанин, 1966 и др.).

В современных условиях проведение таких обработок невозможно не только потому, что сейчас нет разрешенных для этого препаратов, но также и по соображениям экологической безопасности. Нельзя исключить, что разработка новых препаратов (например, биологических) и их предпосадочное внесение в почву может оказаться перспективным в будущем. Однако нам не известны современные препараты, которые могли бы быть применены таким способом в обозримой перспективе.

Ранее широкое применение находил также способ защиты корневой системы высаживаемых растений путем их предпосадочной обработки разными пестицидами. Использовали два способа: опыливание (опудривание) корневых систем перед посадкой и их обмакивание в «жижу с дустом» непосредственно перед посадкой (Трошанин, 1966). При опудривании корней их первоначально смачивали водой, раскладывали на брезенте или ином пологе и опудривали с помощью «двойного марлевого мешочка с дустом». Затем сеянцы переворачивали на другую сторону и вновь проводили опудривание (Руднев, Пашов, 1954). Разумеется, в настоящее время проведение подобного мероприятия совершенно невозможно по санитарно-гигиеническим нормам.

Таким образом, к середине XX века в бывшем Советском Союзе в арсенале защиты леса имелось не только большое число пестицидов, но и несколько технологий их применения (таблица 1).



**Рис. 5.** Поврежденные личинками хруща корни сосны в возрасте пяти лет

Для разработки современной технологии защиты культур сосны от хрущей нами были проведены испытания нескольких пестицидов. В культурах сосны крымской (Шолоховское лесничество Ростовской обл.) первого года роста (год создания 2022 г.) в конце июля рано утром

**ТАБЛИЦА 2. ПРИЖИВАЕМОСТЬ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ПО ОКОНЧАНИИ ПЕРВОГО ГОДА РОСТА ПРИ ОБРАБОТКЕ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ РАСТВОРАМИ ПРЕПАРАТОВ**

Наименование препарата, его концентрация в растворе	Приживаемость, %	Наименование препарата, его концентрация в растворе	Приживаемость, %
Юнона, 0,5%	56,7±5,1	Диазинон, 1,0%	31,1±1,1
Юнона, 1,0%	60,0±8,4	Диазинон, 2,0%	43,3±8,8
Юнона, 2,0%	67,7±5,9	Диазинон, 3,0%	33,3±6,9
контроль (без обработки)	50,0±16,4	контроль (без обработки)	23,3±8,4

**ТАБЛИЦА 3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПЫТАННЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ КОНЦЕНТРАЦИИ 3 Г/Л**

Наименование препарата, концентрация 3г/л	Число личинок, шт./м <sup>2</sup>		Биологическая эффективность, %
	контроль	эксперимент	
Клонрин	22	4	81.8
Зеленый патруль		12	45.4

вручную проведено опрыскивание надземной части растений препаратами «Юнона» (концентрация 0,5%, 1,0%, 2%) и «Диазинон» (концентрация 1,0%, 2,0%, 3,0%).

Приживаемость лесных культур, как один из важных показателей их состояния по окончании первого года роста, в вариантах с обработкой в растворе препарата «Юнона» (концентрация 0,5–2,0%) составила 56,7–67,7%, что на 6,7–17,8% больше, чем на контроле (таблица 2). Значение показателя в вариантах с обработкой в растворе препарата «Диазинон» с концентрацией 1,0–3,0% (31,1–43,3%) больше на 7,8–20,0%, в сравнении с контролем (23,3%).

### **Проведенный эксперимент показал, что «Юнона» во всех испытанных концентрациях обеспечивает бóльшую приживаемость сосны.**

В Тюменской области проведено испытание химического инсектицида «Клонрин» и комплексного микрогранулированного грибного препарата

«Зеленый патруль». Препараты вносили путем опрыскивания лесокультурной площади в квартале 48 (выдел 12) Винзилинского участкового лесничества с применением ранцевого опрыскивателя. Испытаны для каждого препарата три концентрации, но только при использовании рабочей жидкости с концентрацией 3 г\л был получен положительный результат (таблица 3).

Таким образом, проведенные испытания новых препаратов для защиты культур сосны от личинок майского хруща с использованием технологии опрыскивания уже созданных посадок показали, что подобная технология может быть разработана, и она позволит защитить искусственные молодняки от личинок восточного майского хруща.

### **Предполагаемый интерес для внедрения**

В настоящее время очаги хруща наиболее интенсивно формируются в южном, Приволжском и Уральском федеральных округах, и для успешного решения проблем восстановления лесов на вырубках, гарях и пустошах именно в этих частях России в первую очередь может быть проявлен интерес к разрабатываемой технологии.

## Заключение

В настоящее время восточный майский хрущ вновь начинает формировать очаги, и его вредоносность увеличивается. Проблема обеспечения надежной защиты сосновых культур может быть решена путем разработки современных технологий защиты способом предпосадочной обработки корневых систем и способом послепосадочной обработки культур разрешенными для этого препаратами.

## Список литературы

1. Гниненко Ю. И., Цуканов Я. В., Галич Д. Е., Чеплянский И. Я. Восточный майский хрущ — несколько забывая, но вновь реальная угроза // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 1. — С. 67–74.
2. Головянко З. С. О применении нафталина в борьбе с личинками хрущей. // Лесное хозяйство, 1941. № 6. — С. 45–46.
3. Деев С. С. Борьба с майским хрущом пылевидными препаратами. // Лесное хозяйство, 1941, № 6. — С. 61–62.
4. Лисов Н. А. Экологическое обоснование и совершенствование системы защитных мероприятий против восточного майского хруща в Среднем Поволжье: диссертация кандидата биологических наук: 03.00.09. Казань, — 1985—216 с.
5. Об утверждении Правил лесоразведения, формы, состава, порядка согласования проекта лесоразведения, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесоразведения: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20.12.2021 № 978 [Зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 11.02.2022 № 67239]. — Текст электронный. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111120> (дата обращения 23.08.2022 г.).
6. Руднев Д. Ф., Пашов Н. Ф. Итоги внедрения в Украинской ССР метода защиты корней сеянцев сосны дустами ДДТ и ГХЦГ при облесении площадей, зараженных личинками хрущей. // Сборник Украин. респуб. Киев. — 1954. — № 1–2, — С. 94–105.
7. Тропин И. В. Авиацимическая защита леса. М.: Сельхозиздат. — 1962. — 238 с.
8. Троицкий Б. Г. Химическая борьба с восточным майским хрущом в лесах Поволжья. // Борьба с восточным майским хрущом. Материалы к научно-техническому совещанию 17–20 августа 1971 года. Пушкино: ВНИИЛМ. — 1971. — С. 55–59.
9. Павлинов Н. П. Восточный майский хрущ в лесах РСФСР и неотложные мероприятия по борьбе с ним. // Борьба с восточным майским хрущом. Материалы к научно-техническому совещанию 17–20 августа 1971 года. Пушкино: ВНИИЛМ. — 1971. — С. 31–34.
10. Рекомендации по интегрированной борьбе с восточным майским хрущом. // М. ВНИИЛМ. — 1980. — 28 с.





3

---



# Лесные культуры и селекции

66

Уточнение лесосеменного районирования сосны обыкновенной на территории Средней и частично Восточной Сибири

71

Применение методов дистанционного зондирования земли для мониторинга лесных селекционно-семеноводческих объектов

80

Ускорение лесной селекции как метод интенсификации лесного хозяйства России

88

Посадочный материал хвойных пород

90

Коллекция эмбрионных культур лиственницы: состояние и применение для плантационного лесовыращивания

# УТОЧНЕНИЕ ЛЕСОСЕМЕННОГО РАЙОНИРОВАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕЙ И ЧАСТИЧНО ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук - обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28

## Кузьмин Сергей Рудольфович

кандидат сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник

skr\_7@mail.ru

## Кузьмина Нина Алексеевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

kuz@ksc.krasn.ru

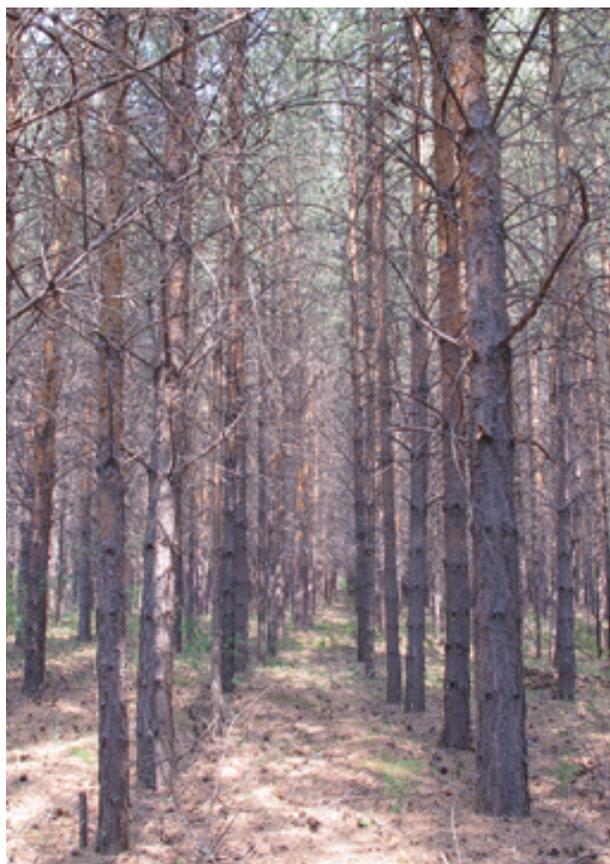
**Частые лесные пожары и интенсивное освоение лесных территорий приводят к значительному сокращению площади хвойных лесов, в частности сосны обыкновенной, и сокращению объемов урожая семян.**

Одной из форм компенсации утерянных лесных площадей является лесовосстановление и целевое лесовыращивание на основе экспериментальных исследований географических культур. Результаты исследований географических культур являются научной основой

для уточнения лесосеменного районирования в регионах и отбора перспективных климатических экотипов (климатипов) на быстроту роста, стволовую продуктивность и устойчивость к болезням (Правдин, Вакуров, 1968; Патлай, 1974; Ирошников, 1977; Нарышкин и др., 1983; Проказин, Куракин, 1983; Черепнин, 1999). Особую актуальность в решении этих вопросов приобрели результаты исследований географических культур последней государственной серии, полученные в России и ближнем зарубежье (Шутяев, Вересин, 1990; Редько, 1994; Мерзленко, Мельник, 1995; Тараканов и др., 2001; Чернодубов и др., 2005; Наквасина и др., 2008; Кузьмин, Кузьмина, 2020а, б, 2023; Matyas et al., 2023).

Географические культуры в Богучанском лесничестве Красноярского края, являющиеся частью этого проекта, представляют собой генетическую коллекцию из 83 происхождений сосны обыкновенной (климатических экотипов, далее в тексте называемых климатипами), места происхождения которых простираются от Латвии до Хабаровского края и от Мурманской области до Казахстана. Географические культуры выращиваются на экспериментальных участках с разными почвами – на темно-серой лесной суглинистой и дерново-подзолистой песчаной (Рисунки 1 и 2), контролем является богучанский климатип (№ 42).

Одним из результатов исследования географических культур является уточнение действующего лесосеменного районирования, которое заключается в укрупнении существующих лесосеменных районов на территории Сибири на основе объединения происхождений сосны со



**Рис. 1.** Фотография географических культур сосны обыкновенной на участке с суглинистой почвой

сходными значениями усредненного показателя (критерия успешности роста) по комплексу лесоводственно-таксационных характеристик (Кузьмин, Кузьмина, 2020а, б). Комплекс показателей включает: сохранность (долю сохранившихся деревьев), средние показатели высоты и диаметра деревьев, объем ствола, долю прямоствольных деревьев, долю пораженных грибными патогенами деревьев и запас стволовой древесины в возрасте 40 лет.

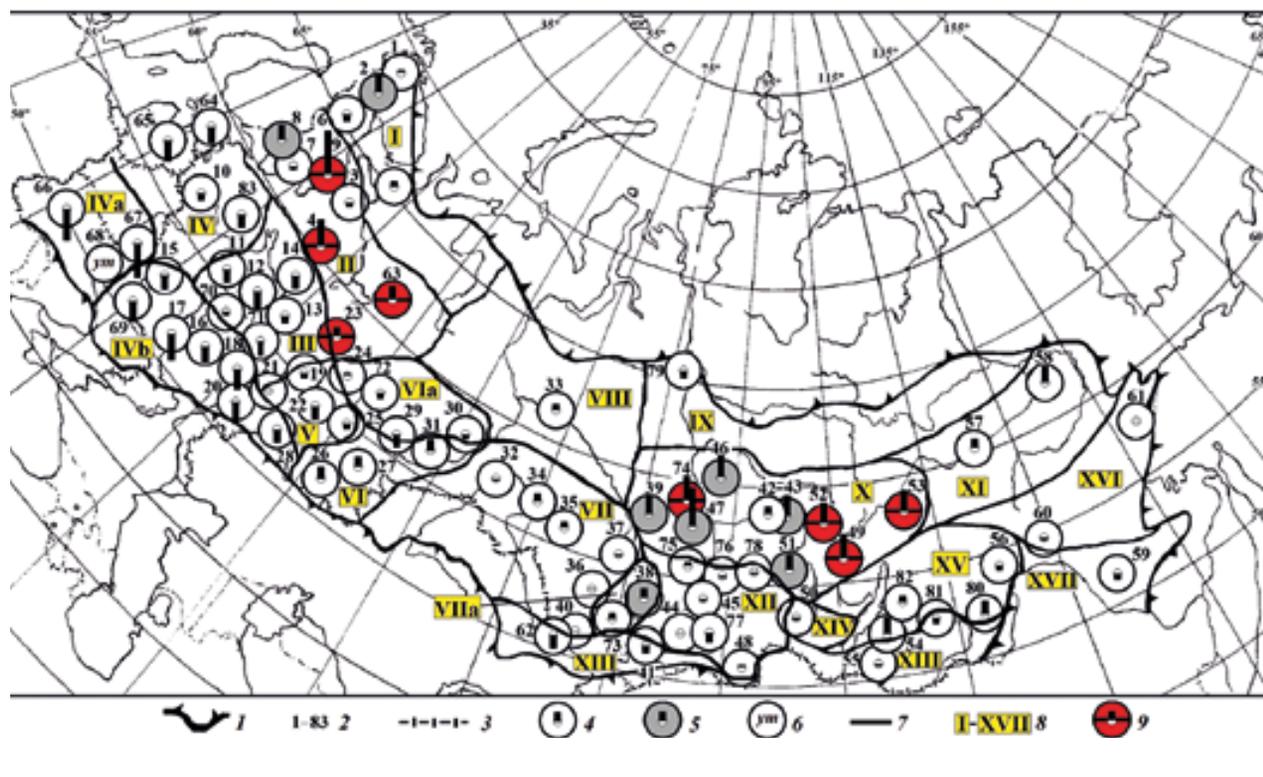
Усредненный показатель по комплексу характеристик, выраженных в долях стандартного отклонения от средних значений признаков по всем тестируемым климатипам сосны, является итоговой оценкой роста климатипов в географических культурах. Этот показатель назван критерием успешности роста (КУР) (Кузьмин, Кузьмина, 2020б; Рисунок 3).

В пределах каждого экспериментального участка географических культур отбирались



**Рис. 2.** Фотография географических культур сосны обыкновенной на участке с песчаной почвой

климатические экотипы с положительными значениями показателя успешности роста относительно средних значений на участке и контрольного варианта. В связи с этим в 40-летнем возрасте на участке с песчаной почвой были отобраны 16 перспективных климатипов, на суглинистой — 15. Среди отобранных только восемь в условиях разных почв имели положительные значения показателя успешности роста и были выделены кандидатами в сорта-популяции (Кузьмин, Кузьмина, 2020а). На Рисунке 3 они отмечены кружками красного цвета. Часть из них представляют регионы, значительно удаленные от пункта испытания (Карелия, Коми, Вологодская и Кировская области). Успешная адаптация этих климатических экотипов сосны к условиям эксперимента объясняется некоторым сходством климатических и других лесорастительных характеристик их пунктов происхождения с пунктом испытания и широкой нормой адаптивной реакции к экологическим условиям.



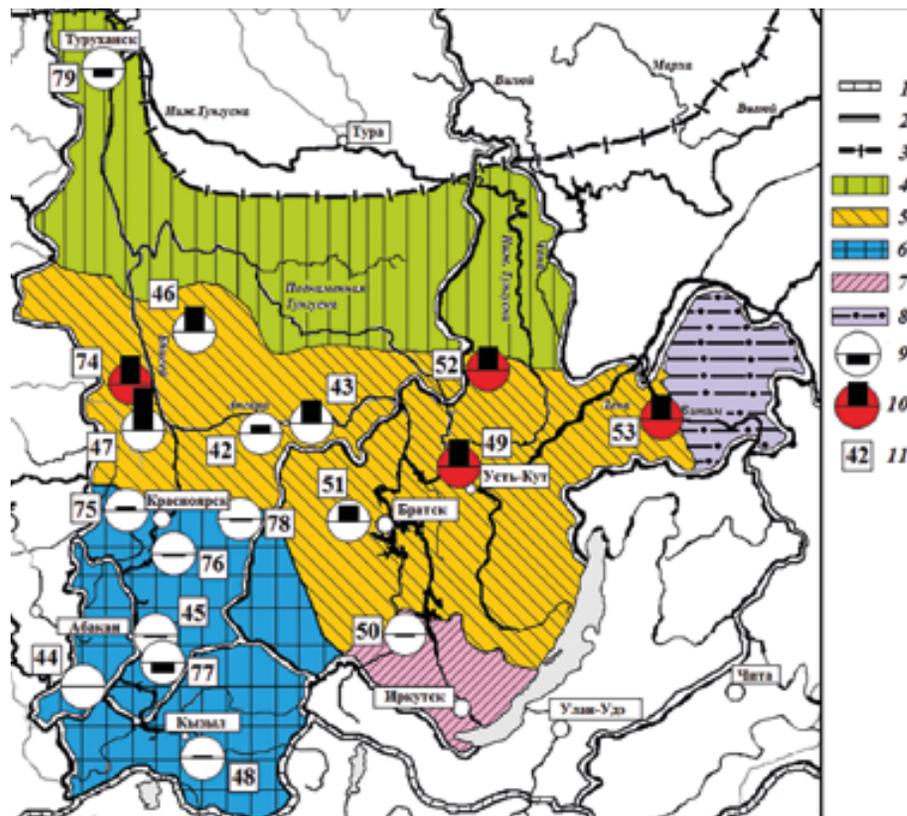
**Рис. 3.** Группы происхождений сосны, выделенные на основе сходства критерия успешности роста (КУР) на участке с песчаной почвой, и занимающие определенные территории в ареале вида (1 — граница ареала вида; 2 — номер климатипа; 3 — границы республик бывшего СССР (1977 г.); 4 — КУР по комплексу признаков в долях стандартного отклонения ( $\sigma$ ) от среднего значения, радиус круга —  $1\sigma$ ; 5 — места происхождений перспективных климатипов; 6 — утраченный климатип; 7 — граница групп; 8 — номера выделенных территорий (групп); 9 — места происхождений климатипов, имеющих статус перспективных в разных почвенных условиях)

В условиях песчаной почвы преимущество по сохранности у климатипов — кандидатов в сорта-популяции по сравнению с контролем (№ 42) достигает 9%, на суглинистой почве — 12%. По средней высоте преимущество на песчаной почве достигает 54%, по запасу стволовой древесины — 176%. В условиях суглинистой почвы преимущество относительно контроля значительно ниже, по средней высоте составляет 15%, по запасу стволовой древесины 16%. Перспективные климатипы, отобранные в географических культурах сосны, указывают на ценные свойства их материнских популяций, семена которых можно использовать для создания целевых плантаций и лесных культур.

Анализ критерия успешности роста у 83 климатических экотипов по комплексу исследуемых показателей и выделение групп климатипов с близкими значениями КУР позволил выделить пять лесосеменных районов (ЛСР) на территории Средней и частично Восточной Сибири (в гра-

ницах Красноярского края, Республики Хакасия, Республики Тыва и Иркутской области). Их представляют следующие лесосеменные районы: 1 — Туруханско-Эвенкийский, 2 — Ангаро-Ленский, 3 — Саянский, 4 — Иркутский, 5 — Якутский (Кузьмин, Кузьмина, 2020б; Рисунок 4).

В результате многолетнего изучения динамики роста, сохранности и устойчивости географических культур к болезням, вызываемым грибными патогенами, были предложены рекомендации для лесного хозяйства, в которых уточняются правила перемещения семян в регионе. При этом количество лесосеменных районов сосны обыкновенной на территории Средней и частично Восточной Сибири сокращается до пяти. В случае хронического отсутствия семян сосны обыкновенной в регионе поставщиками семян для создания плантаций и лесных культур целевого назначения, наряду с сосняками Богучанского района, предлагается использовать материнские насаждения восьми



**Рис. 4.** Лесосеменные районы (ЛСР) сосны обыкновенной в Сибири, выделенные на основе результатов исследования географических культур (1 — граница с Монголией; 2 — граница субъектов России; 3 — северная граница ареала сосны обыкновенной; ЛСР: 4 — Туруханско-Эвенкийский; 5 — Ангаро-Ленский; 6 — Саянский; 7 — Иркутский; 8 — Якутский; 9 — КУР у климатипов, тестируемых на песчаной почве (см. Рис. 1); 10 — перспективные климатипы на участках с разными почвенными условиями; 11 — авторский номер климатипов)

климатипов, выделенных кандидатами в сорта-популяции. Их представляют сосняки четырех лесничеств из южно-таежных и подтаежных лесов с территории Красноярского края и Иркутской области (Нижне-Енисейское, Усть-Кутское, Катангское, Мамское) и четырех лесничеств из среднетаежных лесов Карелии и Республики Коми (Пудожское, Корткеросское) и южно-таежных лесов Вологодской и Кировской областей (Тотемское, Слободское).

Материнские насаждения 16 перспективных климатипов, отобранных в географических культурах на песчаной почве, и 15, отобранных на суглинистой почве, рекомендуются для использования в качестве поставщиков семян для создания плантаций и лесных культур целевого назначения строго в соответствии с почвенными и лесорастительными условиями создаваемых объектов в регионе (Кузьмин, Кузьмина, 2023).

Соблюдение правил перемещения семян сосны обыкновенной в регионах является залогом создания устойчивых и высокопродуктивных лесных культур и плантаций.

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

### Список литературы

1. Ирошников А. И. Географические культуры хвойных в южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1977. С. 4–110.
2. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах разных лесорастительных условий // Лесоведение. 2020а. № 5. С. 451–465.



3. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Лесосеменные районы сосны обыкновенной на основе оценки роста географических культур в Сибири // Сибирский лесной журнал. 2020б. № 6. С. 3–15.
4. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Закономерности роста климатипов сосны обыкновенной в разных почвенных условиях в географических культурах // Сибирский экологический журнал. 2023. Т. 30. № 5. С. 692–704.
5. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Значение географических лесных культур в сохранении биологического разнообразия древесных растений // Биологическое разнообразие лесных экосистем (Тезисы всероссийского совещания, 12–15 ноября 1995, Москва). М.: Типография Россельхозакадемии, 1995. С. 325–327.
6. Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на европейском севере. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2008. 308 с.
7. Нарышкин М.А., Вакуров А.Д., Петерсон Ю.В. Географические культуры сосны обыкновенной под Москвой // Лесоведение. 1983. № 2. С. 50–57.
8. Патлай И.Н. Рост и устойчивость сосны в географических культурах второго поколения в Тростянецком лесхозе Сумской области // Известия вузов. Лесной журнал. 1974. № 6. С. 155–160.
9. Правдин Л.Ф., Вакуров А.Д. Рост сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) разного географического происхождения в подзоне хвойно-широколиственных лесов // В кн.: Сложные боры хвойно-широколиственных лесов и пути ведения лесного хозяйства в лесопарковых условиях Подмосковья. М.: Наука, 1968. С. 160–195.
10. Проказин А.Е., Куракин Б.Н. Происхождение сеянцев сосны обыкновенной и устойчивость их к шютте // Лесное Хозяйство. 1983. № 2. С. 51–53.
11. Редько Г.И. Комплексная оценка климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // Сб. научных трудов МЛТИ. М.: МЛТИ, 1994. С. 31–39.
12. Тараканов В.В., Демиденко В.П., Ишутин Я.Н., Бушков Н.Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 230 с.
13. Черепнин В.Л. Географические культуры сосны обыкновенной в Забайкалье // В кн.: Ботанические исследования в Сибири. Красноярск: Восточно-Сибирский научный центр РАН, Красноярское отделение Российского ботанического общества РАН, 1999. Вып. 7. С. 180–193.
14. Чернодубов А.И., Галдина Т.Е., Смогунова О.А. Географические культуры сосны обыкновенной на юге Русской равнины. Воронеж: ГЛТА, 2005. 128 с.
15. Шутяев А.М., Вересин М.М. Продуктивность географических популяций сосны обыкновенной // Лесное хозяйство. 1990. № 11. С. 36–38.
16. Mátyás C., Balázs P., Nagy L. Climatic Stress Test of Scots Pine Provenances in Northeastern Europe Reveals High Phenotypic Plasticity and Quasi-Linear Response to Warming // Forests. 2023. Vol. 14. Iss. 10. Article 1950.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ СЕЛЕКЦИОННО- СЕМЕНОВОДЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ



Западно-Сибирское отделение  
Института леса им. В. Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук – филиал Федерального  
государственного бюджетного  
научного учреждения Федеральный  
исследовательский центр Красноярский  
научный центр Сибирского отделения  
Российской академии наук

630082, г. Новосибирск,  
ул. Жуковского, д. 100/1

## Дубовик Дмитрий Сергеевич

кандидат географических наук,  
директор ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН

тел.: (383) 228-21-45, zapsibfilial@yandex.ru

## Тараканов Вячеслав Вениаминович

доктор сельскохозяйственных наук, главный научный  
сотрудник ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН,  
профессор Новосибирского ГАУ

тел.: (383) 228-21-45, zapsibfilial@yandex.ru



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук - обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28



Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный  
университет геосистем и технологий»

630108, г. Новосибирск,  
ул. Плеханова, 10

## Карпик Александр Петрович

доктор технических наук, профессор, ректор СГУГиТ

тел.: (383) 343-39-37, rektorat@snga.ru

## Арбузов Станислав Андреевич

кандидат технических наук, доцент СГУГиТ

тел.: (383) 361-08-66, kaf.fotogram@snga.ru

Система селекционно-семеноводческих объектов, заложенная во второй половине двадцатого века во многих регионах России, служит для интенсификации воспроизводства лесов и сохранения их генетического разнообразия. Большое значение данные объекты представляют также для фундаментальных и прикладных исследований. Лесное селекционное семеноводство – самая наукоемкая отрасль лесного хозяйства. Это и генетические исследования отдельных деревьев, насаждений, популяций, сортов, пород, и изучение биоразнообразия

в целом, и выявление закономерностей лесообразовательного процесса в контролируемых условиях, и многое другое [1, 2].

Система лесных селекционно-семеноводческих объектов или «Единый генетико-селекционный комплекс» (ЕГСК) представлен естественными насаждениями и отдельными деревьями, обладающими повышенными характеристиками по селективируемым признакам, искусственно созданными на их генетической основе плантационными объектами, такими как испытатель-



**Рис. 1.** Прививка плюс-дерева кедра сибирского на ЛСП 1985 г. закладки. Фото 2022 г.

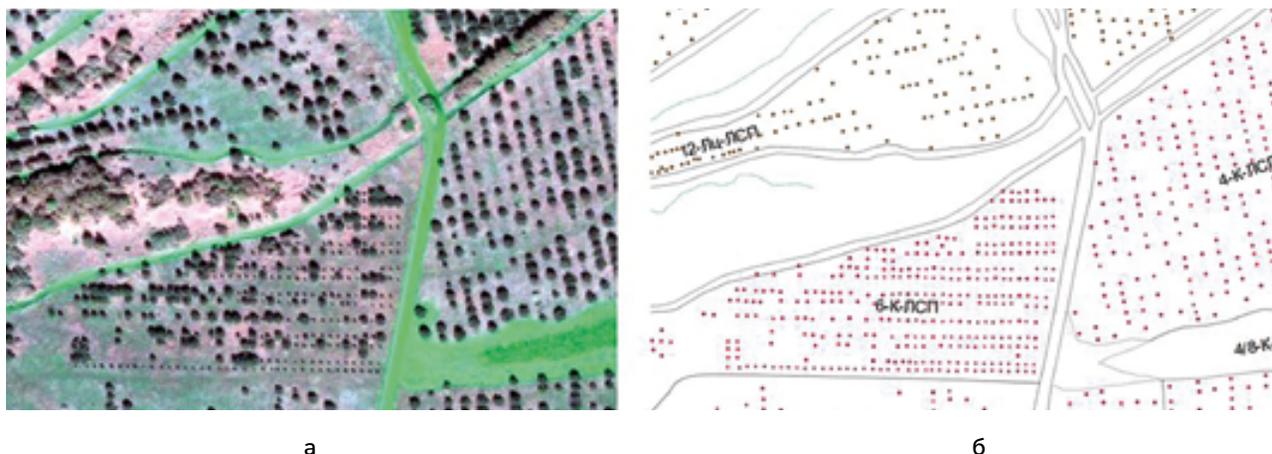
**Использование космических снимков сверхвысокого разрешения и данных беспилотной аэрофотосъемки позволяет в разы сократить трудозатраты и время на осуществление мониторинга лесных селекционно-семеноводческих объектов, а также получать ранее недоступную информацию.**

ные культуры, архивы клонов, лесосеменные и маточные плантации различных категорий, а также географическими культурами [3].

В сравнении с другими, как искусственными, так и естественными насаждениями, объекты ЕГСК требуют гораздо более интенсивного мониторинга\*, при этом с гораздо большей подробностью изучения. Например, вместо обобщенных данных о составе, запасе и прочих таксационных характеристиках, достаточных для разработки лесохозяйственных мероприятий в обычных лесах, при изучении объектов ЕГСК зачастую необходимы сведения о каждом отдельном дереве. Например, при изучении испытательных и географических культур необходимы данные сплошных перечетов, причем с измерением не только диаметра, но и многих других признаков, в зависимости от конкретных целей [4, 5].

При этом по данным ФБУ «Рослесозащита» только на территории СФО сосредоточено 3541 шт. плюс-деревьев и 656,7 га ЛСП, а также около 110 га испытательных и географических культур. Инвентаризация и детальные исследования таких объектов с использованием традиционных полевых методик требует большого количества людей и времени. Применение беспилотной аэрофотосъемки, а в некоторых случаях и спутниковых снимков сверхвысокого разрешения, позволяет не только существенно повысить эффективность этих работ, но и получить ранее недоступную информацию [6]. Например, без использования современных средств большую сложность представляло измерение высот деревьев в загущенных насаждениях, когда высота дерева не позволяет вести измерения мерным шестом, а высокая сомкнутость и близость расположения соседних деревьев практически исключают возможность применения высотомеров. Рубка модельных деревьев для исследований на таких объектах также недопустима. Единственной альтернативой традиционным полевым работам в таких случаях являются методы ДЗЗ. В частности, в настоящее время данную задачу можно решить, применяя современные беспилотные аэрофотосъемочные комплексы [6]. Кроме этого, как спутниковые, так и аэрофотоснимки несут информацию об отражательных свойствах изображенных на них объектов, которая также представляет большой интерес [7].

\*Термин «мониторинг» можно трактовать в узком смысле — как серию регулярных наблюдений какого-либо объекта, или в более широком понимании — как систему, включающую в себя наблюдения, оценку, прогноз и контроль состояния того же объекта. Мы будем иметь в виду более широкое понятие.



а

б

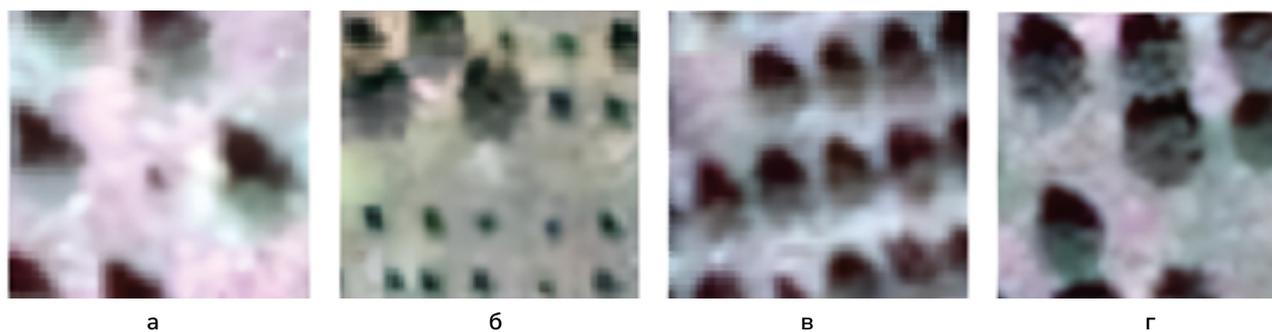
**Рис. 2.** Фрагмент снимка Pleiades 1A (а) и соответствующий фрагмент созданной на его основе карты-схемы питомника, содержащего лесосеменные плантации, архивы клонов и другие объекты ЕГСК (б)

Многообразие данных дистанционного зондирования делят на активные и пассивные; на получаемые наземными, воздушными (беспилотными и пилотируемыми), космическими съемочными системами; и по другим критериям. Большинство из них используют в тех или иных сферах лесной отрасли [8, 9, 10]. При этом большинство задач, связанных с мониторингом лесосеменных и селекционных объектов, как отмечено выше, требует оценки отдельных деревьев: от простого перечета с целью оценки сохранности до сбора семян и отбора образцов для генетических исследований. Это существенно сужает круг используемых данных, практически отсекая все данные низкого, среднего и частично высокого разрешения. Исключение могут составлять дополнительно используемые источники, например, для оценки окружающих насаждений, рельефа, температуры поверхности и т.п. Одними из наиболее значимых параметров – как в хозяйственном отношении, так и с точки зрения развития лесной экосистемы – являются такие морфометрические характеристики деревьев, как высота, диаметр, площадь кроны, число шишек и др. Наиболее точным и подробным методом для таких оценок можно считать данные воздушного лазерного сканирования (ВЛС) [12, 13, 14], особенно в сочетании с мультиспектральной аэрофотосъемкой, позволяющей получать информацию о породном составе древостоя [11, 12]. Однако стоимость подобной техники на практике ограничивает ее применение сферой наиболее важных выборочных исследований.

Регулярный мониторинг лесосеменных, а также архивных объектов, имеющих разреженные схемы посадки, с расстояниями между отдельными деревьями более 5 метров актуально проводить с использованием спутниковых снимков сверхвысокого разрешения. По таким данным возможно определить не только сохранность насаждения, но и диаметры кроны, в определенной степени состояние отдельных деревьев, качество и своевременность уходов за насаждением в целом [15] (рис. 1, 2).

В результате выполненной нами в 2020 году инвентаризации лесосеменных и архивных плантаций плюс-деревьев хвойных пород, сосредоточенных на Елбашинском селекционном питомнике АО «Бердский лесхоз», были получены данные о сохранности деревьев с точностью выше 97%, оценено количество больных деревьев, самосева лиственных пород, получены данные о диаметрах и сомкнутости кроны в пределах отдельных плантаций и другие сведения, создана соответствующая электронная карта и обеспечен задел для дальнейшего мониторинга данных объектов и его автоматизации [15].

Определяющим ограничивающим фактором при инвентаризации и мониторинге таких объектов на основе космических снимков является их пространственное разрешение. Величина распознаваемого объекта зависит от доминирующего признака, используемого при его дешифрировании. Так, общепринято, что объект компактной формы обнаруживается на снимке, когда его линейные размеры сопоставимы с размером пикселя [16] или разрешаю-



**Рис. 3.** Увеличенные фрагменты снимка Pleiades 1A, пространственное разрешение 0,5 метра. а — в центре рисунка молодое дерево с шириной кроны около 1 метра на плантации лиственницы сибирской; б — дополнения на лесосеменной плантации кедра 1986 года закладки в сравнении со взрослыми деревьями, ширина крон посаженных деревьев 1,5–3 метра; в — деревья в возрасте около 25 лет в архиве клонов 1994 года закладки, средняя ширина крон 4,9 метра; г — кедры на лесосеменной плантации 1984 года посадки, ширина крон показанных на рисунке деревьев около 8 метров

щей способностью. В этом случае при хорошем контрасте и с учетом регулярного размещения посадочных мест можно лишь констатировать наличие/отсутствие дерева. Опознать объект по форме или его спектральным характеристикам можно тогда, когда его размеры превышают разрешение снимка в 3–5, а иногда и более раз. Вести сравнительные линейные измерения с приемлемой точностью возможно с еще больших размеров (рис. 3).

На крайнем слева изображении наличие объекта в посадочном месте удастся установить только благодаря отбрасываемой им тени. Сама же крона практически сливается с фоном. В данном случае, работая только со снимком, без дополнительной информации, можно лишь с определенной вероятностью предположить его наличие. На втором изображении деревья опознаются относительно уверенно. На изображении «В» кроны деревьев уже отличимы, как от теней, так и от фоновой травяной растительности, при этом границы переходов между ними еще достаточно широкие в сравнении с линейными размерами крон. Соответственно, ошибки их измерения будут существенными, как при визуальном, так и при автоматизированном измерении по снимку. При большей ширине крон (изображение Г), граница перехода в 1–2 пикселя составляет уже около 5–10% от ширины кроны, ошибки измерений при этом будут зависеть и от применяемого подхода. Логично, что при снижении пространственного разрешения не только станет невозможным опознать и измерить деревья меньшего диаметра, но за счет обобщения изображения понизится возможность различить между собой

даже крупные деревья в случае перекрытия или близкого расположения их крон.

После первичной инвентаризации с использованием, помимо спутниковых снимков, всех имеющихся материалов, дальнейший мониторинг подобных объектов может быть в значительной степени автоматизирован. Например, единожды созданный векторный слой, содержащий координаты центров крон деревьев и их характеристики, можно совмещать со снимками, полученными на последующие периоды наблюдения. Наблюдается хороший контраст отражательных свойств деревьев не только с травяным покровом, но в определенных случаях и в зависимости от породы и состояния, между собой [15]. Даже с использованием стандартных средств ГИС можно автоматизировано оценить как минимум такие характеристики, как сохранность, изменение состояния деревьев. Наряду с этим возможна оценка качества уходов, появления самосева.

Насколько эффективнее мониторинг состояния ССО при использовании космоснимков высокого разрешения? При квадратной конфигурации участка и размещении на нем деревьев по схеме 6x8 м (208 шт./га) имеем на каждом гектаре по 12,5 рядов деревьев при длине каждого ряда 100 м. При натурной оценке сохранности и состояния деревьев и линейном ходе нужно пройти  $(12,5 \times 100) = 1250$  м. При средней скорости по залуженному участку 3 км/час на это уйдет  $(1250 / 3000) = 0,42$  час или 25 мин. На осмотр посадочных мест, если затрачивать на 1 место/дерево по 0,5 мин, понадобится  $(0,5 \times 208) = 104$  мин. Итого  $(25+104) = 129$  мин или округленно

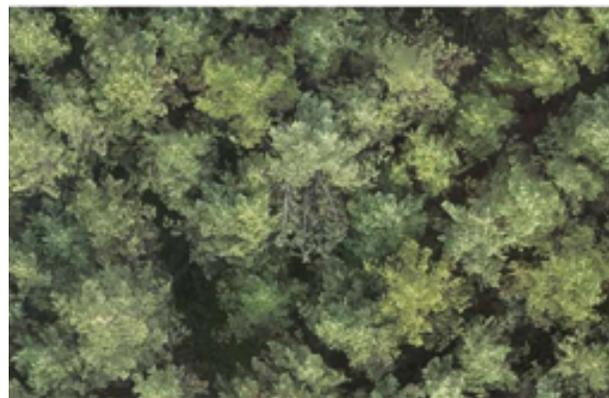


**Рис. 4.** Фрагмент мультиспектрального ортофотоплана географических культур в Сузунском районе НСО, дата съемки 04.11.2022

2 часа на 1 га. При инвентаризации, например, всех ЛСП и архивов клонов на Елбашинском селекционном питомнике площадь учетов составит около 190 га [18]. На инвентаризацию этих объектов понадобится  $(190 \times 2) = 380$  час, или при продолжительности рабочего дня 10 час — 38 суток. При наличии космоснимков высокого разрешения на решение этой задачи в «ручном» режиме понадобится около 3 суток рабочего времени. При автоматизации процесса временные затраты сократятся самое большее до 1 часа. Таким образом, временные/трудовые затраты на исследование при инвентаризации плантационных объектов с редким размещением деревьев сокращаются минимум на порядок!

Помимо автоматизации мониторинга перспективным направлением является разработка соответствующих информационных систем, содержащих сведения об объектах ЕГСК — не только о сохранности и других общих характеристиках, но и данные о генетике и происхождении отдельных деревьев, ежегодные данные по урожайности, сохранности потомств, и другие сведения, важные как для развития науки, так и для принятия обоснованных хозяйственных решений. Разработка и ведение таких систем возможны при тесной интеграции научных организаций с Управлениями лесами (министерствами) и арендаторами, на территории которых находятся ССО.

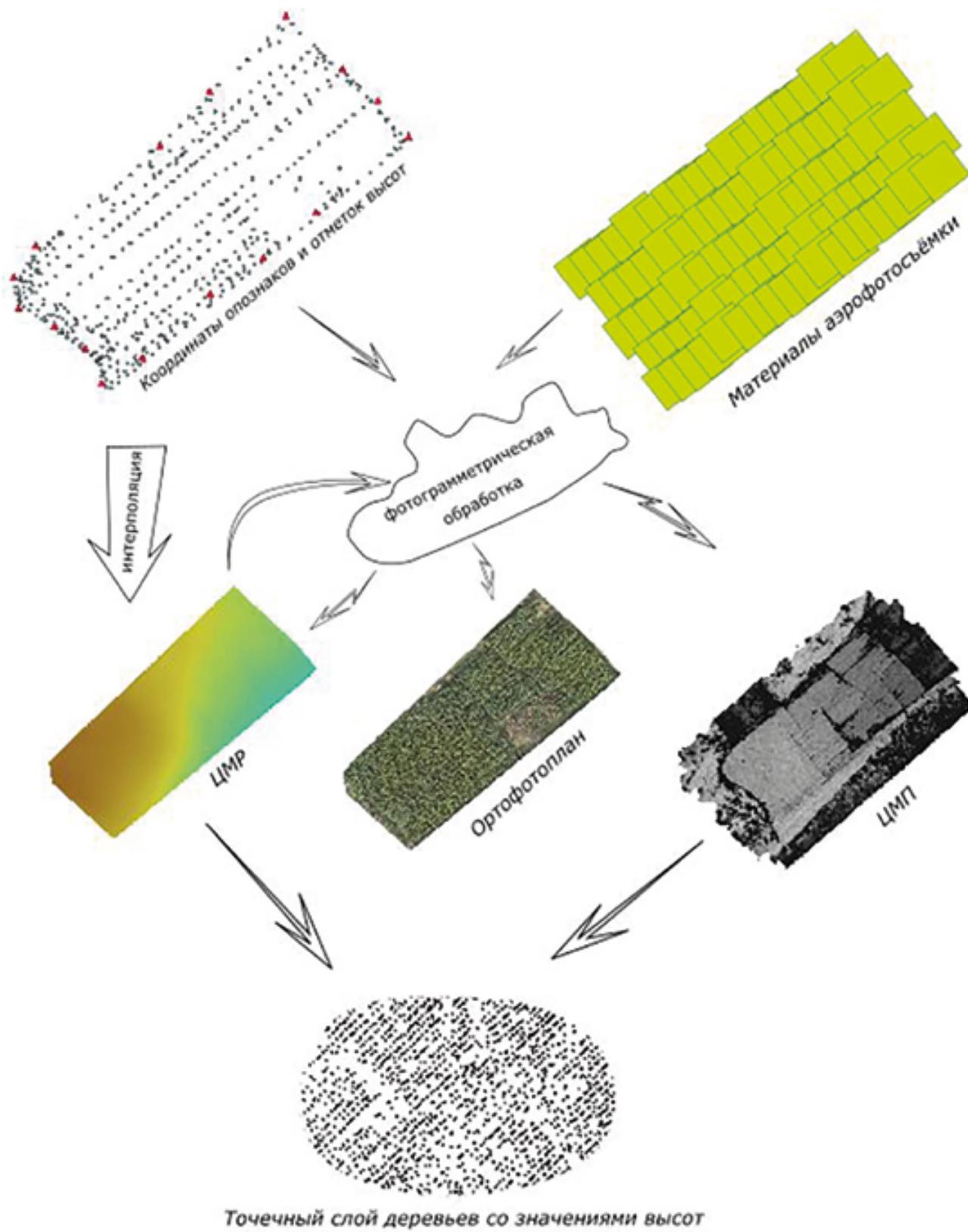
При мониторинге и детальном обследовании селекционно-семеноводческих объектов с высокой плотностью насаждений наиболее перспективно применение данных съемок с беспилотного воздушного судна (БВС). С 2017 года



**Рис. 5.** Увеличенный фрагмент ортофотоплана испытательных культур в Искитимском районе НСО, октябрь 2023, разрешение снимка 3,4 см

Западно-Сибирским отделением института леса совместно со СГУГиТ ведется мониторинг географических культур сосны обыкновенной в Сузунском районе Новосибирской области и разработка соответствующих методов применения беспилотной аэрофотосъемки для оценки морфометрических и отражательных характеристик деревьев таких насаждений [6,17]. В 2023 году с учетом полученных результатов и наработанного опыта начата работа по подробному изучению испытательных культур сосны в Искитимском районе (рис. 4, 5).

Как уже говорилось выше, на подобных объектах с высокой плотностью посадки оценка высот деревьев традиционными методами с требуемой для целей исследования точностью становится невозможной с определенного возраста. При этом сами объекты зачастую имеют сравнительно небольшие площади в единичные десятки гектар. Одним из экономически эффективных методов является определение высот фотограмметрическим способом по материалам съемок с мультироторного БВС. После предварительной фотограмметрической обработки материалов съемки измерить высоту дерева можно как минимум двумя способами: 1) визуальным стереофотограмметрическим методом, когда оператор стереоскопически измеряет высоту верхней части кроны (макушку) дерева и его основания в специализированном программном обеспечении; 2) автоматизированным способом, как разницу между высотой точки в верхней части кроны, полученной по предварительно построенной цифровой модели поверхности и высотой соответствующей точки цифровой модели рельефа (ЦМР). При этом второй способ явля-



**Рис. 6.** Общая схема автоматизированного вычисления высот деревьев по материалам аэрофотосъёмки

ется предпочтительным не только из-за меньших трудозатрат и требований к квалификации оператора, но и ввиду того, что поверхность земли не всегда видна вблизи каждого отдельно измеряемого дерева (рис. 6).

Вне зависимости от применяемого подхода критическим моментом является качество модели, полученной в результате фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки. Оно в свою очередь зависит от используемого оборудования, предварительной подготовки, а также условий самой съемки. Например, даже при наличии у беспилотного воздушного судна ГНСС приемника геодезического класса все равно предпочтительным для контроля точности фотограмметрической обработки является закладка сети наземных опознавательных знаков с измеренными координатами. Высокая густота насаждений, плотный и неравномерный по высоте травяной покров по периметру и в прогалинах сильно сужают возможности построения модели рельефа только по данным аэрофотосъемки. Близость расположения деревьев при этом ограничивает возможности геодезических работ с использованием только ГНСС приемников. В связи с этим для обеспечения необходимой дискретности и точности измерений приходится прибегать к применению оптических геодезических приборов. Например, при изучении испытательных культур в 2023 году нами был выполнен теодолитный ход с определением координат опознавательных знаков и тахеометрическая съемка рельефа со средним расстоянием между отметками высот около 20 метров. Аэрофотосъемка осуществлялась БВС мультироторного типа DJI Matrice 30t с высоты 80 метров. Полученные в результате фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки погрешности высот отдельных деревьев не превысили 20–30 см.

Выполнение весьма трудоемких геодезических работ возможно осуществлять только при первичной инвентаризации объекта. Так, в 2019 году на географических культурах нами была заложена сеть постоянных опознавательных знаков, что сокращает подготовительные работы при очередных съемках, а также обеспечивает преемственность получаемых в разные года материалов.

Помимо качества подготовительных работ, используемого оборудования, параметров съемки и методов обработки исходных данных, существенное влияние на качество полученного

результата оказывают условия освещенности и ветер. Даже при относительно слабом ветре отклонение вершины дерева между двумя последовательными кадрами может составлять первые десятки сантиметров, что существенно снижает точность определения высоты из-за изменяющегося параллакса. Уменьшить данную погрешность позволяет съемка в двух перпендикулярных направлениях и другие приемы.

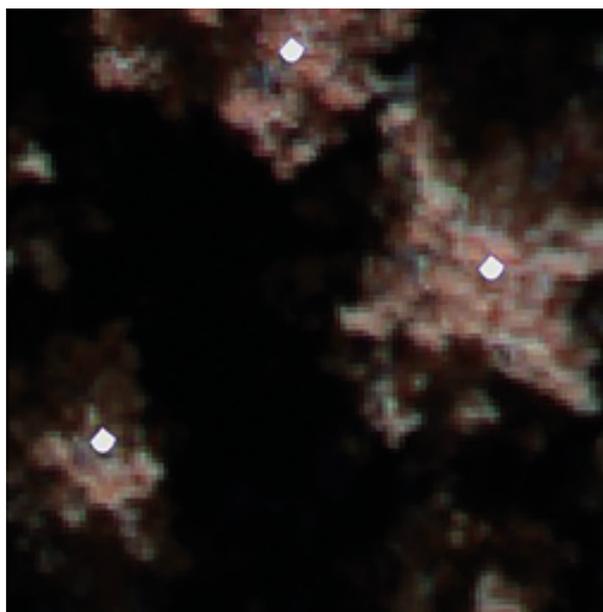
При определении высот деревьев представленным автоматизированным методом одним из важных этапов является собственно опознание верхней части кроны (макушки). Осуществляется это путем поиска экстремумов по разностной модели, либо по модели поверхности. При этом отдельные деревья могут иметь несколько вершин, отдельные ветви также могут иметь локальные повышения в плане, часть деревьев, напротив, может быть закрыта пологом. В связи с этим достаточно сложным является соблюдение баланса между полнотой и достоверностью автоматизированного дешифрирования (рис. 7).

Для оценки отражательных свойств недостаточно просто использовать значения яркости в точке в середине кроны дерева либо сбор зональной статистики с делянки целиком. Лесной полог на крупномасштабных космических снимках, а также на материалах аэрофотосъемки, в отличие от интегральных характеристик травяной растительности, обладает очень высокой гетерогенностью. Кроны деревьев, имея куполообразную, пирамидальную и другие формы, освещены неравномерно, причем наиболее освещенные и затененные части меняются в пространстве по мере движения солнца в течение суток и сезонов года. Кроме того, на данный показатель влияет высота отдельно взятого дерева относительно средней высоты полога. На интегральные отражательные свойства, помимо породного состава полога, оказывает существенное влияние возраст и густота древостоя. Для решения данной проблемы возможно построение секторов в наиболее освещенных частях кроны в направлении солнца в момент съемки (рисунок 7).

При таком автоматизированном подходе поиска деревьев в загущенных насаждениях есть вероятность пропустить часть деревьев нижних ступеней толщины и разрядов высот. Это необходимо учитывать при статистической обработке данных. Еще одной интересной задачей в данной области является сопоставление авто-



а



б

**Рис. 7.** Результаты работы алгоритмов поиска (а) и построения секторов в наиболее освещенных частях кроны для сбора сведений об отражательной способности деревьев (б)

матризовано полученных точечных объектов с координатами вершин и высотами деревьев и соответствующих им точечных объектов деревьев, координаты которых получены другим путем, например, в результате сплошного перечета. Например, из около 16 тысяч деревьев, измеренных нами в 2023 году во время сплошного перечета на испытательных культурах, получить и однозначно сопоставить высоты с посадочными местами конкретных деревьев удалось у немногим более 70%. Помимо высот и данных сплошного перечета, полученных в поле, на основе данных дистанционного зондирования и построенных моделей рельефа собраны для каждого дерева отражательные характеристики кроны, абсолютная высота, уклон и некоторые другие данные. Результаты непосредственной работы, как и описание данных алгоритмов, равно как и поиска деревьев и сбора отражательных свойств, выходят за рамки данной статьи и будут представлены отдельно.

Таким образом, для мониторинга лесных селекционно-семеноводческих объектов в настоящее время, в зависимости от конкретных задач целесообразно применение спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения, а также данных беспилотной аэрофотосъемки. Перспективным для детальных исследований, однако экономически более за-

тратным, является использование воздушного лазерного сканирования.

При использовании спутниковых снимков определяющим ограничивающим фактором является пространственное разрешение — на грани возможности инвентаризации молодых насаждений с небольшими размерами деревьев. Перспективными направлениями для дальнейшей разработки считаем автоматизацию мониторинга и разработку соответствующих информационных систем.

Использование беспилотной аэрофотосъемки позволяет оценивать высоты отдельных деревьев даже в загущенных насаждениях, при этом определяющим ограничивающим фактором является качество геодезической подготовки перед выполнением съемки, подробность в оценке рельефа местности, качество фотограмметрической обработки полученных данных. Перспективным для дальнейших исследований является разработка специализированных алгоритмов автоматизированной обработки комплекса собранных данных, особенно в таких аспектах, как опознание деревьев и оценка высот с требуемой точностью, сбор отражательных свойств в области наибольшей освещенности крон деревьев.

## Литература

1. Селекция лесных пород / Молотков П. И., Патлай И. Н., Давыдова Н. И. и др. — М.: Лесная пром-сть, 1982. — 224 с.
2. Семериков Л.Ф., Исаков Ю. Н., Тараканов В. В., Семериков В. Л., Глотов Н. В. О генетико-селекционном аспекте сохранения и улучшения лесов России // Лесохоз.инф. н.-т.информ.сб. — М.: ВНИИЦлесресурс, 1998. — N 9-10. — С. 3-12, 29-40.
3. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 198 с.
4. Роговцев Р.В., Тараканов В. В., Ильичев Ю. Н. Продуктивность географических культур сосны в условиях среднеобского бора // Лесное хоз-во, 2008. № 2. С. 36-38
5. Демиденко В.П., Тараканов В. В. Сравнительная оценка интенсивности роста 20-летних потомств плюсовых деревьев сосны в Новосибирской области // Лесное хоз-во, 2008. № 5. С. 36-37
6. Использование данных беспилотной аэрофотосъемки в мониторинге географических культур сосны обыкновенной / А. А. Пристанскова, С. А. Арбузов, Д. С. Дубовик, В. В. Тараканов // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2021. — Т. 4, № 2. — С. 146-154. — DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-2-146-154. — EDN THEPCY.
7. Малышева, Н. В. Основы автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков лесов с использованием ГИС / Н. В. Малышева. — Москва: Редакция журнала "Механизация и электрификация сельского хозяйства", 2018. — 136 с. — ISBN 978-5-6040257-2-7. — EDN QQMXPQ.
8. Naseri, Mohammad Hassan & Shataee, Shaban & Habashi, Hashem. (2023). Zoning of leaf burn percentage of tree canopy using UAV and Sentinel 2 images in Daland Forest Park, Golestan. 29. 75-92. 10.22069/jwfst.2023.20939.2001.
9. Ahmed, Hasan. (2021). A comparison between UAV-RGB and ALOS-2 PALSAR-2 images for the assessment of aboveground biomass in a temperate forest.
10. Хамедов В. А., Мазуров Б. Т. Оценка точности определения площадей лесных рубок с использованием снимков с российского космического аппарата "Ресурс-П" № 1 // Вестник СГУГиТ. — 2015. — Вып. 4 (32). — С. 42-50. EDN: VNVVNP
11. Арбузов, С. А. Автоматизированная идентификация и определение породного состава древесных растений по материалам цифровой многозональной аэрофотосъемки лесных массивов / С. А. Арбузов, Е. П. Хлебникова, В. Н. Никитин // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). — 2020. — Т. 25, № 4. — С. 68-76. — DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-68-76. — EDN OOCKGJ.
12. Применение материалов аэрофотосъемки для определения породной и высотной составляющих лесных насаждений на объектах ПАО "НК "Роснефть" / Н. Н. Филин, А. Н. Погородный, С. А. Арбузов, Н. Н. Бердников // Нефтяное хозяйство. — 2022. — № 9. — С. 111-115. — DOI 10.24887/0028-2448-2022-9-111-115. — EDN UGWYJA.
13. Gong, Yulin & Li, Xuejian & Du, Huaqiang & Zhou, Guomo & Mao, Fangjie & Zhou, Lv & Zhang, Bo & Xuan, Jie & Zhu, Dien. (2022). Tree Species Classifications of Urban Forests Using UAV-LiDAR Intensity Frequency Data. Remote Sensing. 15. 110. 10.3390/rs15010110.
14. Ma, Kaisen & Chen, Zhenxiong & Fu, Liyong & Tian, Wanli & Jiang, Fugen & Yi, Jing & Du, Zhi & Sun, Hua. (2022). Performance and Sensitivity of Individual Tree Segmentation Methods for UAV-LiDAR in Multiple Forest Types. Remote Sensing. 14. 298. 10.3390/rs14020298.
15. Дубовик, Д. С. Мониторинг состояния архивных и лесосеменных плантаций хвойных пород с помощью спутниковых данных Pleiades сверхвысокого разрешения / Д. С. Дубовик, В. В. Тараканов // Сибирский лесной журнал. — 2020. — № 4. — С. 97-105. — DOI 10.15372/SJFS20200411. — EDN LVTFGN.
16. Louargant, Marine & Villette, S. & Jones, Gawain & Vigneau, N. & Paoli, J.N. & Gée, Christelle. (2017). Weed detection by UAV: simulation of the impact of spectral mixing in multispectral images. Precision Agriculture. 18. 1-20. 10.1007/s11119-017-9528-3.
17. Арбузов С.А., Дубовик Д. С., Сигитов А. А., Роговцев Р. В., Тараканов В. В. Сравнительная оценка интенсивности роста географических культур сосны по данным дистанционного зондирования // Сохранение лесных генетических ресурсов: Материалы 6-й Международной конференции-совещания, Щучинск, 16-20 сентября 2019 г. Кокшетау, издательство «Мир печати», ИП. Устюгова, 2019. С. 29-31
18. Тараканов В. В., Дубовик Д. С., Роговцев Р. В., Зацепина К. Г., Бугаков А. В., Гончарова Т. В. Состояние и перспективы развития генетико-селекционного комплекса хвойных пород в Сибири (на примере Новосибирской области) // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2019. № 3 (43). С. 5-24. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.3.5.



Рис. 8. БВС мультироторного типа DJI Matrice 30t

# УСКОРЕНИЕ ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ КАК МЕТОД ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук – обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28



Западно-Сибирское отделение  
Института леса им. В. Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук – филиал  
Федерального государственного  
бюджетного научного учреждения  
Федеральный исследовательский  
центр Красноярский научный центр  
Сибирского отделения Российской  
академии наук

630082, г. Новосибирск,  
ул. Жуковского, д. 100/1

## Тарakanов Вячеслав Вениаминович

доктор сельскохозяйственных наук, главный научный  
сотрудник ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН,  
профессор Новосибирского ГАУ

моб. тел.: +7-909-532-57-70, раб. тел.: (385) 225-47-02,  
tarh012@mail.ru

## Бородинцева Людмила Ивановна

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный  
сотрудник ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН

моб. тел.: +7-952-000-87-32, раб. тел.: (385) 225-47-02



Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Новосибирский государственный  
аграрный университет»

630039, г. Новосибирск,  
ул. Добролюбова, д. 160

## Паркина Оксана Валерьевна

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,  
заведующая кафедрой лесного хозяйства  
Новосибирского ГАУ

тел.: (383) 267-33-00

## Третьякова Раиса Алексеевна

старший преподаватель, аспирант Новосибирского ГАУ

тел.: (383) 267-33-00



Филиал федерального бюджетного  
учреждения «Российский центр  
защиты леса» – «Центр защиты леса  
Красноярского края»

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50 «а» корп. 2

## Роговцев Роман Владимирович

начальник отдела «Новосибирская лесосеменная станция»  
филиала ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Новосибирской  
области»

тел.: (383) 208-05-97

**Важнейшим рычагом интенсификации лесовоспроизводства является создание сортовых лесов с коротким оборотом рубки. Для решения этой задачи предложены методы, сокращающие сроки получения сортов экономически ценных лесобразующих пород со 160-215 лет (при использовании устаревших нормативных документов) до 20-65 лет.**

Многие лесоводы цитируют В. Н. Сукачева о важности «преодоления времени в лесоводстве» [14]. Эта проблема обусловлена длительностью онтогенеза основных лесобразующих пород. Большую надежду в «преодолении времени» В. Н. Сукачев возлагал на лесную селекцию. Однако, как это ни парадоксально, при разработке первых и последующих государственных программ и основополагающих нормативных документов

по лесной селекции в России [6; 7; 8; 18; 9] эта надежда практически не была принята во внимание, что следует из нижеприведенных примеров.

В России, как и в других странах, начальный период селекции лесобразующих видов на продуктивность и качество стволовой древесины включает 2 основных этапа (рис. 1): 1) отбор в лучших естественных древостоях выдающихся по росту и очищаемости ствола от сучьев плюс-деревьев (массовый отбор или «плюсовая селекция»); 2) генетическую оценку плюс-деревьев по семенным потомствам в испытательных культурах и по вегетативным потомствам в архивах клонов для отбора среди них «пред-элитных» и «элитных» деревьев (индивидуальный отбор). Потомствами плюс-деревьев создаются лесосеменные плантации 1-го порядка (ЛСП-1), которые дают семена улучшенной селекционной категории; потомствами элитных деревьев — лесосеменные плантации 2-го порядка (ЛСП-2), которые дают сортовые семена. Эти семена используются для создания улучшенных и сортовых культур (искусственных лесов) соответственно. Некоторые примеры селекционно-семеноводческих объектов, созданных с нашим участием в Сибири, представлены на рис. 2-4.



Рис. 1. Принципиальная схема лесной селекции, реализуемая в РФ



**Рис. 2.** Плюсовое дерево (слева) и ЛСП сосны обыкновенной (справа, вид с воздуха и с земли) в Алтайском крае



**Рис. 3.** Учет урожая шишек и других признаков в 26-летнем архиве клонов кедра сибирского на Елбашинском техническом участке АО «Бердский лесхоз» (Новосибирская область). На фото с.н.с ЗСО ИЛ СО РАН к.с.х.н. Ю.Н. Ильичев (внизу) и А.И. Земляной

Программы по лесной селекции и семеноводству в нашей стране начали воплощаться в жизнь примерно с середины 1970-х годов. На сегодняшний день по данным ФБУ «Рослесозащита» в государственном реестре в сумме по всем породам/видам числится 31612 плюс-деревьев, 4515 га аттестованных ЛСП-1, 791 га испытательных культур, 573 га архивов клонов и всего около 91 га ЛСП-1.5, которые созданы «предэлитными» («почти элитными») потомствами и имеют промежуточную ценность между ЛСП-1 и ЛСП-2. ЛСП-2 не созданы ни в одном регионе России, в то время как в соседних странах со сходным климатом уже создают ЛСП более высоких порядков [11].

Если не принимать во внимание распад СССР и временную приостановку в развитии лесного селекционного семеноводства, то, как отмечено выше, причина отставания кроется в недостатках программ и нормативных документов, в значительной мере обусловленных недоучетом «фактора времени» и отсутствием мер/методов, нацеленных на его преодоление. Это проявляется, прежде всего, в рекомендуемом возрасте отбора плюс-деревьев (ПД), а также и их потомств при окончательной генетической оценке в испытательных культурах. Для обсуждения ограничимся примерами и расчетами по селекции одного из самых ценных в лесоводственном отношении вида — сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L.

Прежде всего, отметим, что селекция наиболее рентабельна в наилучших лесорастительных условиях. Мы полагаем, что целесообразно ориентироваться на условия не ниже 1 класса бонитета [17]. К тому же следует отметить, что чем лучше условия роста древостоев, тем раньше наступает возраст технической спелости, по которому обычно определяют возраст главной рубки [4, с. 114]. Например, при создании так называемых лесосырьевых плантаций, выращиваемых с применением отселектированного посадочного материала, на повышенном агрофоне и относительно невысокой густоте, возраст главной рубки для хвойных пород составляет около 60–70 лет [22]. Казалось бы, именно на выращивание таких быстро достигающих спелости древостоев и должны быть нацелены лесные селекционеры. В этом случае следовало отбирать деревья, которые рано — уже в 60–70 лет — достигают требуемых размеров и качества.

Однако в нормативных документах ПД рекомендовалось отбирать преимущественно в приспевающих и спелых древостоях. Даже

**ТАБЛИЦА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИ ВОЗМОЖНЫЕ ТИПЫ ОНТОГЕНЕЗА ПЛЮС-ДЕРЕВЬЕВ: СОЧЕТАНИЕ БЫСТРОГО И СРЕДНЕГО ТИПОВ РОСТА (ПО ОТНОШЕНИЮ К СРЕДНЕМУ ДЕРЕВУ НАСАЖДЕНИЯ) НА РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВНО ВЫДЕЛЕННЫХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА**

Повышенный прирост на этапе онтогенеза	Этап онтогенеза: годы	
	1-40	41-80
1-40	Быстрый	Средний
41-80	Средний	Быстрый
1-80	Быстрый	Быстрый

в лучших условиях это соответствует возрасту естественных насаждений и обычных лесных культур около 100 лет (V класс возраста). Поскольку ПД не запрещалось отбирать и в насаждениях II класса бонитета, то, например, в Сибири возраст отобранных в советский период ПД составлял преимущественно 100–120 лет.

Рекомендуемые критерии по возрасту массового отбора свидетельствуют о том, что сокращение срока выращивания спелой древесины в будущих сортовых лесах на первых этапах селекции не планировалось. Предполагалось, что они достигнут спелости в тот же срок, что и обычные леса, но при этом запас древесины в спелых 100–120-летних сортовых лесах существенно увеличится (в среднем на 20–25%). Именно в ориентации на возраст спелости обычных насаждений заложена одна из главных причин нашего нарастающего отставания в скорости получения сортов в сравнении с зарубежными странами. Почему это случилось?

Ориентация при отборе ПД на возраст спелости естественных насаждений была обусловлена их длительным онтогенезом и недостаточной изученностью генетической изменчивости по динамике роста. Предполагалось, что возможны различные типы роста/онтогенеза (табл. 1) и в отсутствие информации по этому вопросу наиболее надежен отбор ПД в спелом возрасте.

Проблема идентификации деревьев, сохраняющих преимущества в росте до возраста спелости, получила название «ранней диагностики» [12]. Ретроспективный анализ хода роста выдающихся деревьев и длительные прижизненные наблюдения за ростом деревьев различных классов развития по Крафту показали, что после смыкания крон деревья-лидеры с высокой ве-



**Рис. 4.** 37-летние испытательные культуры сосны в Искитимском лесничестве НСО



**Рис. 5.** Плюс-насаждения сосны, отобранные в Республике Бурятия (слева) и Алтайском крае. Доля деревьев «плюсовой» и «лучшей нормальной» категорий превышает 15%

роятностью сохраняют свои позиции в древостое [5; 13]. Вероятность выявления «деревьев будущего» увеличивается по мере их взросления, но при этом она достаточно высока и в раннем возрасте [5; 13; 3; 10]. При раннем отборе некоторый проигрыш в точности идентификации «деревьев будущего» компенсируется выигрышем во времени. Например, скандинавские селекционеры пришли к выводу, что отбор ПД возможен с 20–40 лет [20]. С нашей точки зрения, на практике при селекции на интенсивность роста вполне допустимо проводить отбор плюс-деревьев в 3-м классе возраста (41–60 лет) [17]. В этом случае достигается также наибольший селекционный дифференциал благодаря отсутствию рубок «на прииск», которые начинаются с проходных рубок (с 61 года).

Следующий очень важный «рычаг» ускорения процесса селекции – снижение возраста окончательной оценки «элитности» плюс-деревьев

в испытательных культурах. В первой методике [6] оценка предполагалась в возрасте технической спелости (рубки). В последующих документах он принят в  $\frac{1}{2}$  от возраста рубки, что составляет при оговоренных выше условиях около 50–60 лет [18; 9]. Этот критерий никак не обоснован. Тем не менее, даже по современным официальным требованиям в случае, если мы будем ориентироваться на достижение технической спелости будущих сортовых лесов в 60–70 лет, он составит 30–35 лет. Уже это ускорит испытания на 15–30 лет. В действительности, судя по данным отечественных и зарубежных исследователей, возраст окончательной оценки может быть снижен до 10–20 лет [19; 21; 16; 17; 13; 1; 2; 10; 11]. Это в значительной мере обусловлено контролем возраста и условий выращивания потомств, а также большим числом наблюдений на каждый вариант (семью). С нашей точки зрения, лучшие по росту семьи сосны достаточно надежно выделяются в период куль-

минации прироста по высоте, который в лучших условиях при редкой густоте культур, соответствующей густоте лесосырьевых плантаций ( $\leq 2000$  шт./га), наступает в 15–20 лет. В это же время деревья вступают в период семеношения. Небольшая часть ошибочно идентифицированных деревьев впоследствии может быть удалена из ЛСП при изреживаниях, так как наблюдения за ростом испытательных культур продолжаются и после выделения элиты.

Модернизация методики закладки испытательных культур может существенно ускорить процесс селекции не только уменьшением срока испытаний и уменьшением густоты посадки, но и уменьшением объема опытов за счет снижения числа потомков на 1 семью. В устаревшей методике [6] и ее последующих модификациях рекомендуемое число полусибовых потомков на 1 семью было многократно завышено в связи с завышенным сроком испытаний, повышенной густотой культур 3,3 тыс.шт./га (в предположении их существенного изреживания к завышенному возрасту окончательной оценки), закладкой опыта в 2–3 наиболее распространенных типах леса и трехкратным их повторением

с использованием потомств от разных генераций (урожаев семян) в связи с варьированием фона опылителей (последнее требование было убрано в [9]). При числе растений на делянку 100 шт., наличии не менее трех повторностей внутри каждого опыта и других требований необходимо было испытывать около 1–3 тыс. потомков на каждое ПД, что с учетом контрольных делянок соответствует 0,3–1 га площадей на каждое ПД. Ориентация на выращивание сортовых лесов только в лучших лесорастительных условиях при сниженной густоте лесосырьевых плантаций, особенно с применением потомств от контролируемого опыления, сокращает статистически обоснованный объем семьи почти на порядок (достаточно около 100–200 деревьев), что уменьшает срок испытаний за счет снижения общего объема работ.

Если исходить из сложившихся в советский период темпов создания объектов и учесть все сказанное выше, то время на процесс селекции, считая от отбора ПД до начала плодоношения ЛСП-2 (начала использования сорта), сокращается приблизительно в 2–3,5 раза (табл. 2).

**ТАБЛИЦА 2. ВРЕМЯ, НЕОБХОДИМОЕ НА СЕЛЕКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ И МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ (ПЛАНИРУЕМЫХ) ВАРИАНТОВ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ (МЕТОДОВ). В РАСЧЕТЕ НА 1 ЛЕСОСЕМЕННОЙ РАЙОН**

Вид и объем работ (скорость выполнения)	Сроки (лет) при нормативах:	
	Действующих	Планируемых
Отбор на каждый лесосеменной район 500 ПД (100 ПД в год)	5	5
Закладка 50 га Архива клонов (5 га от 50 ПД в год)	10	10
Закладка испытательных культур от 500 ПД: 150-500 га по действующим, 25-50 га по модернизированным методам (5 га в год)	30-100	5-10
Выделение элиты в испытательных культурах	60	15
Закладка 100 га ЛСП-2 (5 га в год)	20	10
Достижение ЛСП-2 стадии семеношения	15	15
Итоговый срок создания сорта-популяции из 50 элитных деревьев	140-210	60-65



**Рис. 6.** Единственный в России улучшенный ПЛСУ сосны, созданный на генетической основе плюс-насаждений на территории, арендуемой ООО «Алтай-Форест» в Алтайском крае. Фото 2023 г

Наряду с рассмотренным выше существуют и другие пути повышения скорости выведения сортов лесобразующих видов хвойных пород, которые приведут к интенсификации воспроизводства лесов. Один из них, специфический для условий России благодаря относительной сохранности естественно-исторически сложившейся популяционной структуры видов-лесообразователей, сводится к популяционной селекции на основе лучших по продуктивности и качеству так называемых «плюс-насаждений» (рис. 5). В СФО на сегодня их отобрано около 1,3 тыс. га. Кроме плюс-насаждений в испытаниях могут быть задействованы также имеющиеся ЛСП и постоянные лесосеменные участки (ПЛСУ), площадь которых составляет около 0,7 тыс. га.

Рассматривая каждый из этих объектов как единицу отбора, по аналогии с испытательными культурами плюс-деревьев, ускоренным образом осуществляется генетическая оценка по потомству этих «популяций». После достижения потомствами 15-летнего возраста среди испытываемых популяций выделяются лучшие — элитные [17]. Поскольку они находятся в стадии семеношения, то в них сразу (без этапа закладки ЛСП!) возможен сбор семян сортовой категории. В этом случае время получения сортовых семян может сократиться до 25 лет.

Такая возможность предусмотрена в последних нормативных документах и вполне может быть реализована даже лесными арендаторами, заключившим договор на 49 лет. Хотя генетический сдвиг при популяционном отборе может быть несколько ниже, чем при индивидуальной селекции, он отличается сохранением генетической гетерогенности и поддержанием генетического гомеостаза, способствующих повышению устойчивости лесов.

Еще один опробованный нами путь ускорения селекции заключается в получении семян улучшенной селекционной категории на генетической основе плюс-насаждений. Он заключается в создании дичками, заготовленными по специальной технологии в подпологовых питомниках плюс-насаждений, постоянных лесосеменных участков [15]. Единственный в России такого рода улучшенный ПЛСУ создан на территории, арендуемой ООО «Алтай-Форест» в Алтайском крае (рис. 6). В настоящее время он вступил в стадию производства семян улучшенной селекционной категории. На создание этого уникального объекта потребовалось всего 23 года.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ЗСО ИЛ СО РАН — филиал ФИЦ КНЦ СО РАН и по хозяйственным договорам с ООО «Алтай-Форест» и АО «Бердский лесхоз».

**Авторы признательны  
сотрудникам ФБУ  
«Рослесозащита», работникам  
Министерства природных  
ресурсов и экологии (Управления  
лесами) Новосибирской  
области и Алтайского края за  
предоставленную информацию  
и содействие в проведении  
исследований.**

**Литература**

1. Бондаренко А. С., Жигунов А. В. Оптимизация численности растений в опытах по испытанию семенного потомства плюсовых деревьев ели европейской // Лесоведение, 2016, № 3, с. 187–194.
2. Бондаренко А. С., Жигунов А. В. Оптимальный возраст оценки генетических свойств плюсовых деревьев в испытательных культурах ели европейской // Лесоведение, 2020, № 5, с. 442–450.
3. Жигунов А. В., Бондаренко А. С. Возраст оценки генетических свойств деревьев ели европейской в испытательных культурах // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 65–81.
4. Энциклопедия лесного хозяйства: в 2-х томах. Т. 1. М.: ВНИИЛМ, 2006. 424 с.
5. Маслаков Е. Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесная пром-ть, 1984. 168 с.
6. Основные положения методики закладки испытательных культур плюсовых деревьев основных лесобразующих пород. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1982. 19 с.
7. Основные положения по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 1994. 24 с.
8. Основные положения по лесному семеноводству в СССР. М.: ЦБНТИлесхоз, 1976. 32 с.
9. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 20 октября 2015 г. N 438 "Об утверждении Правил создания и выделения объектов лесного семеноводства (лесосеменных плантаций, постоянных лесосеменных участков и подобных объектов)" <https://docs.cntd.ru/document/420314538>
10. Раевский Б.В., Куклина К.К., Щурова М.Л. Селекционно-генетическая оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН, 2020. № 3. С. 45–49.
11. Раевский Б. В., Игнатенко Р. В., Новичонок Е. В., Проклюк В. М., Куклина К. К.. Современное состояние селекции и семеноводства хвойных пород // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2022. № 6. С. 9–37.
12. Рогозин М. В. Ранняя диагностика быстроты роста сосны обыкновенной в культурах // Лесоведение, 1983. № 2. С. 66–72.
13. Рогозин, М. В. Лесная селекция: Учебное пособие. Москва: Издательский Дом "Академия Естественных наук", 2018. 298 с.
14. Сукачев В.Н.. Проблема преодоления времени в лесоводстве и роль селекции древесных пород в ее разрешении // Сб. Трудов «Селекция и интродукция быстрорастущих древесных пород». Л.: Центральный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 1934. № 1. С. 15–25.
15. Тараканов В.В., Бушков Н. Т., Куценогий К. П., Ковальская Г. А. Роль подпологовых питомников в повышении эффективности семенных заказников // Лесное хоз-во, 2003. № 5. С. 43–44.
16. Тараканов В. В., Дубовик Д. С., Роговцев Р. В., Зацепина К. Г., Бугаков А. В., Гончарова Т. В. Состояние и перспективы развития генетико-селекционного комплекса хвойных пород в Сибири (на примере Новосибирской области) // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2019. № 3 (43). С. 5–24.
17. Тараканов В.В., Паленова М. М., Паркина О. В., Роговцев Р. В., Третьякова Р. А. Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор) // Лесохозяйственная информация. 2021. No 1. С. 100–143.
18. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 198 с.
19. Федорков А. Л. Пути повышения эффективности селекционных работ в таежной зоне европейской России // Лесное хозяйство. 2011. № 1. С. 24–25.
20. Федорков А. Л. Фенотипический отбор в лесной селекции // Лесоведение, 2019. № 6. С. 580–584.
21. Федорков А. Л. Внутрисемейный отбор в лесной селекции // Лесоведение, 2021. № 3. С. 261–264.
22. Шутов И.В., Маркова И. А., Омельяненко А. Я., Постников М. В., Товкач Л. Н., Власов Р. В., Подшиваев Е. Е., Сергиенко В. Г. Плантационное лесоводство. СПб: Изд-во полит.ун-та, 2007. 366 с.

# ПОСАДОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ ХВОЙНЫХ ПОРОД



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет»

630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, д. 160

## Паркина Оксана Валерьевна

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой лесного хозяйства Новосибирского ГАУ  
тел.: (383) 267-33-00, parkinaoksana@yandex.ru

## Якубенко Ольга Евгеньевна

кандидат сельскохозяйственных наук  
тел.: (383) 267-33-00, o.e.yakubenko@yandex.ru

## Третьякова Раиса Алексеевна

аспирант  
тел.: (383) 267-33-00, rtretyakova@yandex.ru

## Производство качественного адаптивного посадочного материала – тренд современного лесовосстановления для эффективного лесопользования.

Технология получения посадочного материала хвойных пород с разным типом корневой системы является актуальной и значимой темой в лесном хозяйстве. Акцентируется внимание на ценных породах: ель сибирская, сосна кедровая сибирская (кедр), сосна обыкновенная и др.

Воспроизводство лесов проводят путем посадки саженцев, семян лесных древесных пород с ЗКС и ОКС, выращенных в лесных питомниках с обеспечением проведения агротехнических уходов.

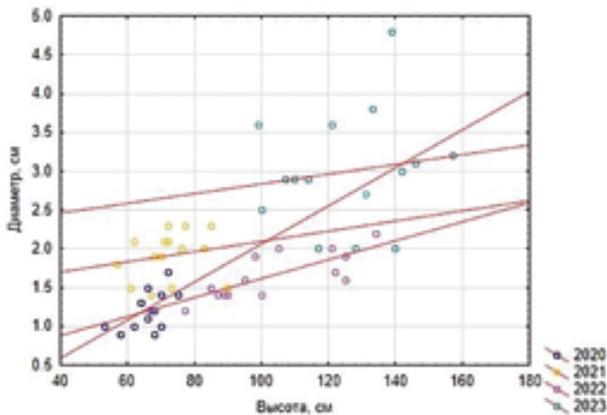


## Посадочный материал ЗКС

В соответствии с Правилами лесовосстановления не менее 20% площадей искусственного и комбинированного лесовосстановления должно быть выполнено посадкой семян и (или) саженцев с ЗКС. Посадочный материал должен обладать корневой системой с наличием главного корня и хорошо развитых боковых корней.

Лесной посадочный материал с открытым типом корневой системы (ОКС) освобожден от почвы или покрывающего субстрата, материал с закрытым типом (ЗКС) характеризуется корневой системой, находящейся внутри кома почвы или емкости с субстратом.

В Новосибирском государственном аграрном университете с 2015 года проводят научно-исследовательскую работу по разработке эле-



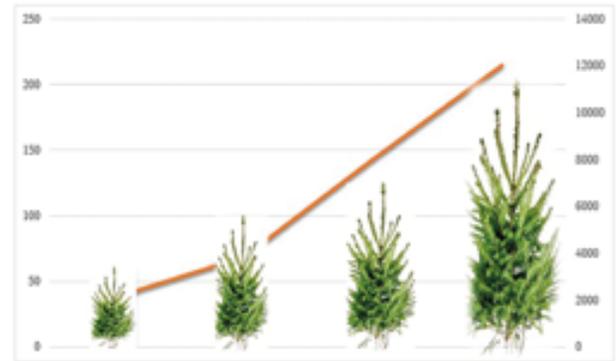
**Рис. 1.** Соотношение биометрических показателей, 2020-2023 гг.

ментов технологии выращивания посадочного материала хвойных пород с разным типом корневой системы. Изучены приемы выращивания контейнеризированных семян, саженцев и крупномеров.

В информационных источниках отсутствуют критерии градации крупномерного посадочного материала. К характеристикам «крупномера» следует отнести биометрические показатели, быстроту роста, лесоводственно-биологические особенности, целевое использование и т.д.

Необходимо учитывать взаимосвязь между высотой и диаметром посадочного материала при моделировании его развития на разных этапах роста (рисунок 1).

По мере роста взаимосвязанные показатели высоты и диаметра характеризуются тенденцией нарастания различий. На первых этапах развития семян отмечена тенденция дружных всходов и равномерного развития. При перешколивании в контейнеры разного размера от 4 до 7 литров наблюдается дифференциация роста и развития. Установлено, что с 7-летнего возраста нарастают различия по высоте и диаметру стволика. При посадке саженцев с открытой корневой системой отмечен меньший диапазон изменчивости основных биометрических показателей ствола и кроны и снижение процента приживаемости с возрастом. У крупномеров в 2023 г. отмечается переход к стадии индивидуального роста и развития, в результате которого происходит дифференциация по размерам ствола и кроны.



**Рис. 2.** Соотношение высоты и средней стоимости

Для восстановления лесов и озеленения городских территорий необходимо получение посадочного материала с учетом целевого назначения. В настоящее время увеличивается спрос как на получение стандартных семян и саженцев с закрытой корневой системой, так и на ассортимент крупномеров разного размера.

Эффективность технологии выращивания определяется выходом качественного посадочного материала и ценовой категорией при реализации.

Мониторинг цен производителей посадочного материала в питомниках и садовых центрах на территории Новосибирской области характеризует зависимость стоимости от высоты. Реализуемый материал от 20 до 60 см, в среднем, составляет 1860–2400 руб., 60–100 см – 3850 руб. и выше, 120 см от 4500 до 12000 руб., 3 м от 18200 руб. (рисунок 2).

Использование крупномеров сокращает временной интервал и предоставляет возможность формирования ландшафта в кратчайшие сроки. Необходимо модернизировать технологию ускоренного выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытым типом корневой системы.

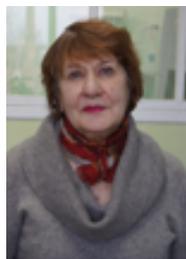
Получение целевого посадочного материала является актуальной задачей сохранения лесов и организации зеленых пространств для создания комфортной среды.

# КОЛЛЕКЦИЯ ЭМБРИОГЕННЫХ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННИЦЫ: СОСТОЯНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПЛАНТАЦИОННОГО ЛЕСОВЫРАЩИВАНИЯ



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук – обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28



## Третьякова Ираида Николаевна

доктор биологических наук, ведущий  
научный сотрудник лаборатории  
лесной генетики и селекции,  
профессор

моб. тел.: +7-913-045-24-33, раб.тел.:  
(391) 249-46-25, culture@ksc.krasn.ru



## Пак Мария Эдуардовна

научный сотрудник лаборатории  
лесной генетики и селекции

тел.: +7-913-562-81-55, mtavi@bk.ru

## Клеточные технологии массового тиражирования сортов хвойных деревьев с ценными селекционными признаками

Одним из перспективных направлений в сортовом плантационном лесовыращивании является разработка и использование биотехнологии микроклонального размножения через соматический эмбриогенез в культуре *in vitro* (Park et al., 2016; Tretyakova, Park, 2023). Применение методов бесполого размножения, таких как биотехнология соматического эмбриогенеза, в сочетании с геномной селекцией

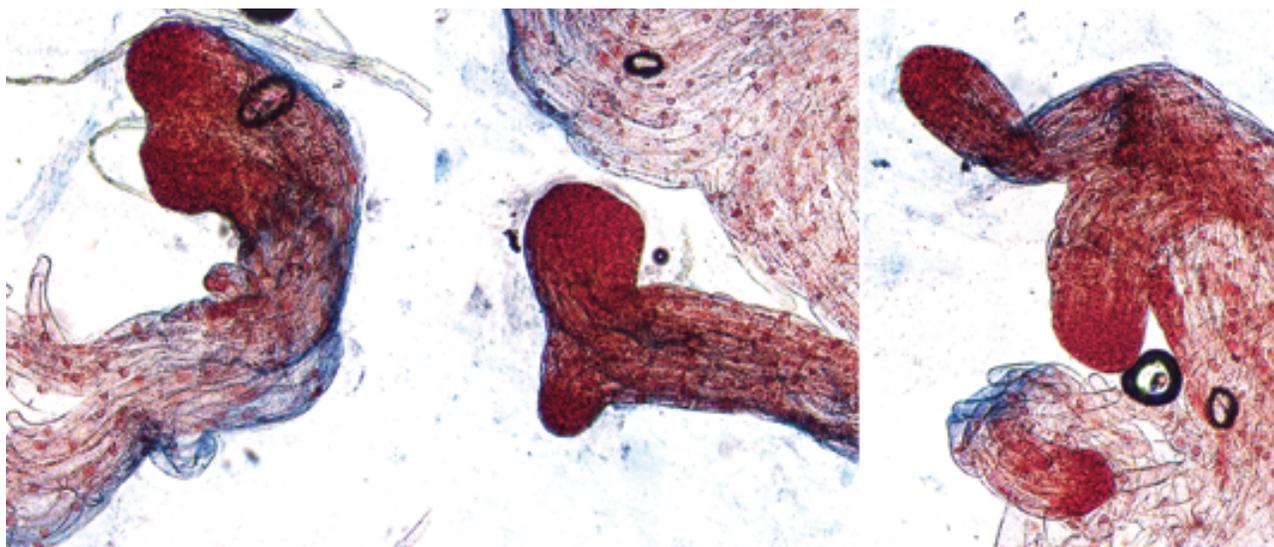
и криоконсервацией позволит не только создать базу для массового тиражирования сортов хвойных видов с ценными селекционными признаками (программа Multi-Varietal Forestry, MVF), но и сохранить гермоплазму на долгие годы (Третьякова, Пак, 2023).

Биотехнология соматического эмбриогенеза для лиственницы была разработана в лаборатории лесной генетики и селекции Института леса им. В. Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН в 2012 (патент № 2456344, 2012). За 2008–2022 гг. нами было получено 54 пролиферирующие эмбриогенные клеточные линии (КЛ). В настоящее время коллекция пролиферирующих эмбриогенных культур (ЭК) лиственницы сибирской состоит из 22 КЛ разного возраста (от 1 года до 14 лет и более).

## Молекулярно-генетическое и структурно-функциональное состояние КЛ

В клеточных линиях образуются глобулярные зародыши, которые активно мультиплицируют через кливаж в течение 14 лет и более (рис. 1). Между пролиферирующими клеточными линиями наблюдалась значительная вариабельность по числу и размеру глобулярных эмбрионов и способности соматических эмбрионов созреть и прорасти. Гистологические исследования показали, что число глобулярных соматических эмбрионов в различных КЛ варьировало от  $1512,2 \pm 137,8$  (КЛ19.20.2) до  $11103 \pm 259,6$  (КЛ10) зародышей на 1 г сырого веса эмбрионально-суспензорной массы (ЭСМ).

Проведенное генотипирование по ядерным микросателлитным локусам показало слабую изменчивость КЛ и соответствие их материнскому дереву-донору (Третьякова и др., 2019). Молодые КЛ (до 1 года) проявили цитогенетическую



**Рис. 1.** Мультипликация соматических зародышей в культуре *in vitro* посредством кливажа глобулы

стабильность, сохраняя ploидность ( $2n=24$ ). Изменение числа хромосом ( $2n=25$ ;  $2n=26$ ) выявлено у длительно пролиферирующих КЛ (семь лет культивирования и более), которые сохраняли способность к формированию глобулярных и семядольных соматических зародышей (Пак и др., 2023). Однако у отдельных клеточных линий (КЛ6) диплоидный набор хромосом сохраняется до 11 лет.

### Созревание и прорастание соматических зародышей

Для созревания соматических зародышей ЭСМ переносили на неделю на безгормональную среду АИ, дополненную активированным углем, а затем в среду с тем же минеральным составом, но с добавлением абсцизовой кислоты, индоллил-3-масляной кислоты и ПЭГ 8000, где происходили процессы дифференциации эмбрионов. Созревание соматических зародышей наблюдалось у 16 коллекционных КЛ в течение 20–60 дней (рис. 2А). Количество зрелых эмбрионов варьировало от 2,9 (КЛ22.129) до 1221 (КЛ4) шт./г сырого веса ЭСМ (таблица). Созревшие соматические зародыши переводили на базовую среду  $\frac{1}{2}$ АИ для проращивания (рис. 2Б). Проростки и клонированные сеянцы были получены у КЛ6. Эта клеточная линия в течение 11 лет характеризовалась стабильностью по числу хромосом и по микросателлитным локусам.

Клонированные деревья лиственницы сибирской, полученные в результате соматического



а



б

**Рис. 2.** Стадии соматического эмбриогенеза лиственницы сибирской: А — созревание соматических зародышей под действием абсцизовой кислоты, индоллил-3-масляной кислоты и ПЭГ8000, Б — регенерация на безгормональной среде  $\frac{1}{2}$  АИ для проращивания

эмбриогенеза, успешно растут в течение десяти лет в почве лесного питомника (рис. 3). Они генетически стабильны. На деревьях нет признаков повреждения листовенничной почковой галлицей. Их скорость роста в 1,4 раза выше, чем у деревьев, полученных из семян. В семь лет клонированные деревья сформировали генеративные органы (микро- и мегастробилы (рис. 4)). В настоящее время проводятся эксперименты по контролируемому опылению клонов листовенницы с последующим включением гибридных зародышей в культуру *in vitro*.

Таким образом, биотехнология получения соматических эмбрионов и отбор коллекционных генетически стабильных клеточных линий листовенницы *in vitro* является перспективным направлением сохранения гермоплазмы и создания высокопродуктивных устойчивых к патогенам клоновых плантаций листовенницы в России.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-20008, <https://rscf.ru/project/22-14-20008/>, Красноярского краевого фонда науки и при частичной финансовой поддержке базового проекта ИЛ СО РАН 2021–2025 «Функционально-динамическая индикация биоразнообразия лесов Сибири» № 0356–2021–0009.

### Список литературы

1. Park Y.-S., Beaulieu J., Bousquet J. Multi-varietal forestry integrating genomic selection and somatic embryogenesis // *Vegetative propagation of forest trees*. 2016. P. 302–322.
2. Tretyakova I.N., Park M. E. Collectible cell lines of *Larix sibirica* obtained by somatic embryogenesis and their ability to regenerate // *Forests*. 2023. № 14. P. 1920.
3. Третьякова И.Н., Пак М. Э. Размножение листовенницы сибирской с использованием биотехнологии соматического эмбриогенеза // *Лесоведение*. 2023. № 5. С. 526–536.
4. Третьякова И.Н., Пак М. Э., Орешкова Н. В., Падуртов В. Е. Регенерационная способность клеточных линий листовенницы сибирской в культуре *in vitro* // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2022. № 6. С. 585–596.
5. Пак М.Э., Горячкина О. В., Третьякова И. Н., Муратова Е. Н. Цитогенетическая характеристика разновозрастных эмбрионных клеточных линий, полученных через соматический эмбриогенез у *Larix sibirica* Ledeb. // *Сибирский экологический журнал*. 2023. Т. 30, № 5. С. 715–723.

Автор фотоматериалов: М. Э. Пак



**Рис. 3.** Клоны, произрастающие в условиях лесопитомника в экспериментальном хозяйстве «Погорельский бор» Института леса им. В. Н. Сукачёва СО РАН, 2023 г.



**Рис. 4.** Женская шишка клона коллекционной клеточной линии

ТАБЛИЦА. ПРОДУКТИВНОСТЬ КОЛЛЕКЦИОННЫХ КЛЕТОЧНЫХ ЛИНИЙ  
ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ

Клеточная линия	Дерево-донор экспланта	Год получения клеточной линии	Продолжительность культивирования, годы	Число зрелых соматических зародышей на 1 г сырой ЭСМ, шт
2	A4	2009	6	110 ± 6
4 *	A4	2009	14 *	1221 ± 138
5	A4	2009	9	Не созревают
6	A4	2011	12	13 ± 3
10	A4	2012	5	662 ± 73.5
101	10	2013	5	11 ± 4
102	10	2013	5	17 ± 3
107	A4	2013	2	10 ± 2
12	A4	2015	4	120 ± 12
201	A4 × 10	2015	7	447 ± 85
16.1	A4 × A4	2016	4	51 ± 7
16.19	A4 × A4	2016	4	9 ± 2
17.16	A4	2017	3	11 ± 5
17.7	A4 × 10	2017	3	110 ± 55
19.36.1 *	A4	2019	4 *	139 ± 11
19.20.1 *	1(35) × A4	2019	4 *	28 ± 7
22.27.1 *	Клон (от КЛ6) × A4	2022	1 *	26 ± 4.6
22.129 *	310	2022	1 *	2.9 ± 0.2

Примечание: Клеточные линии помеченные "\*" продолжают активно пролиферировать в 2023.

4

---



# Мониторинг состояния и функционирования лесных экосистем

96

Эколого-климатические станции мониторинга потоков климатически активных веществ в рамках реализации государственных программ «Карбоновые полигоны» и «Ритм углерода»

102

Мониторинг техногенно-нарушенных земель на основе анализа динамики тепловых аномалий поверхности

107

Мобильная обсерватория для маршрутного мониторинга баланса диоксида углерода в наземных экосистемах Приенисейской Сибири

# ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА ПОТОКОВ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ «КАРБОНОВЫЕ ПОЛИГОНЫ» И «РИТМ УГЛЕРОДА»



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, стр. 14 ГСП-7



Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

## Прокушкин Анатолий Станиславович

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией

prokushkin@ksc.krasn.ru

## Ольчев Александр Валентинович

доктор биологических наук, профессор

aoltche@yandex.ru



Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 28



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук

119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33

## Панов Алексей Васильевич

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией

alexey.v.panov@gmail.com

## Курбатова Юлия Александровна

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией

kurbatova.j@gmail.com

Глобальное изменение климата, наблюдаемое и прогнозируемое в ближайшие десятилетия, влечет за собой существенные риски для человечества. Причиной, согласно оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, является беспрецедентное увеличение в атмосфере концентрации климатически активных газов (парниковых газов, ПГ), вызванное антропогенной деятельностью

[1]. Для достижения углеродной нейтральности к 2060 г. Российской Федерацией предусматривается целый ряд мер, направленных на декарбонизацию экономики за счет внедрения технологических инноваций, модернизации инфраструктуры для доступа к недорогой и чистой энергии, а также сохранения экосистем суши и морей в рамках повышения объемов естественных поглощений ПГ и снижения

их эмиссий, в том числе за счет предотвращения пожаров.

Существующие в настоящее время различия в методических подходах к оценке депонирования углерода атмосферы только лесными биогеоценозами России приводят к значительным расхождениям в оценке поглощения ПГ на ее территории: от 590,6 (при значительном сокращении к 2050 г.) [2] до 1906–2002 млн т. CO<sub>2</sub>-экв./год [3–6]. В силу таких неопределенностей объективная оценка запасов углерода и пространственно-временной изменчивости потоков парниковых газов в экосистемах России требует формирования современной инструментальной унифицированной системы мониторинга и расчета поглотительной емкости природных ландшафтов на региональном и федеральном уровнях. Применение инструментальных методов измерений потоков климатически активных газов в экосистемах заложено в основу двух федеральных программ – «Карбоновые полигоны», реализуемой с 2021 г. под эгидой Министерства науки и высшего образования РФ<sup>1</sup>, и «Важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах"» (Российские инновационные технологии мониторинга углерода – «РИТМ углерода» <https://ritm-c.ru/>, далее РИТМ-С), реализуемой с сентября 2022 г. по распоряжению Правительства РФ<sup>2</sup>.

Согласно приказа Минобрнауки России «Карбоновый полигон» – это один или несколько участков земной поверхности с репрезентативными для данной территории рельефом, структурой растительного и почвенного покрова, созданные для реализации мероприятий, направленных на развитие научного, кадрового и инфраструктурного потенциалов в области разработки и испытаний технологий контроля баланса климатически активных газов природных экосистем. На уже функционирующих карбоновых полигонах (КП) в различ-

ных биоклиматических провинциях страны (Рисунок 1) проводятся круглогодичные измерения чистого экосистемного обмена, валовой первичной продукции и экосистемного дыхания. По состоянию на декабрь 2023 года в России функционирует 17 карбоновых полигонов (<https://carbon-polygons.ru/>) и планируется их увеличение до 30.

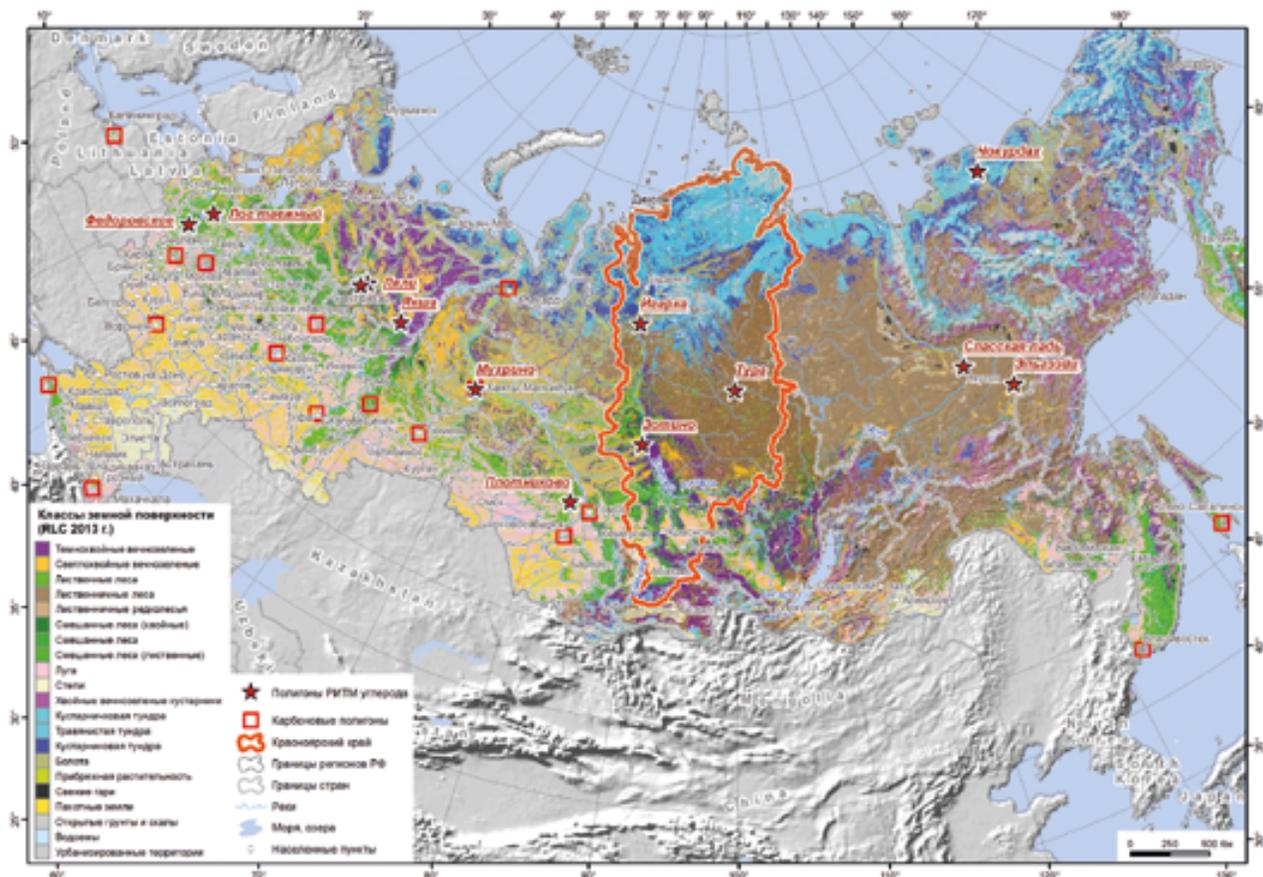
Исторически с конца 1990-х годов на территории РФ сеть станций измерений обменных потоков ПГ между экосистемами и атмосферой развивалась одновременно с другими регионами мира. В результате сложились следующие сети: в Тверской области, в Красноярском крае, в республике Саха (Якутия), в республике Коми, Томской области и в Ханты-Мансийском АО. Многолетние исследования проводятся в Валдайском национальном парке. В рамках программы РИТМ-С эти станции были объединены в национальную сеть RuFlux [7], и в ближайшие годы планируется размещение новых станций в Московской, Курской областях, в Красноярском крае, Ханты-Мансийском АО и других регионах. Цель программы заключается в создании единой национальной системы мониторинга пулов углерода и потоков климатически активных веществ. На декабрь 2023 г. в рамках РИТМ-С функционирует 15 эколого-климатических станций (ЭКС) на площадках интенсивного уровня 2 типа (Рисунок 1).

Для получения количественных оценок поглощения и эмиссий углерода из экосистем в обеих программах мониторинга (КП и РИТМ-С) применяется метод турбулентных пульсаций (МТП) [8–11], который основан на прямых инструментальных измерениях потоков явного и скрытого тепла, чистого обмена ПГ и водяного пара между экосистемами (подстилающей поверхностью) и атмосферой, позволяя:

- получить кумулятивные годовые величины поглощения и выделения ПГ;
- выявить зависимости количественных характеристик обменных потоков ПГ экосистемой от условий окружающей среды и изменений климата;

<sup>1</sup> Приказ Минобрнауки России №74 от 4.02.2021 г.

<sup>2</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2515-р от 02.09.2022 г.



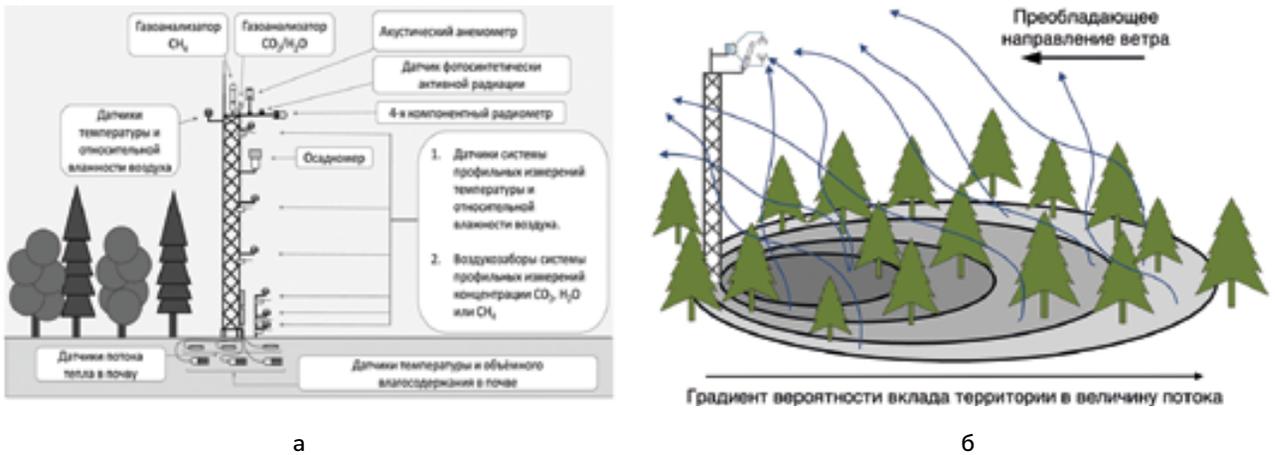
**Рис. 1.** Сети мониторинга экосистемных потоков парниковых газов в рамках национальных программ «Карбоновые полигоны» и «РИТМ-С»

- получить данные для параметризации процессов нетто-обмена в моделях разного масштаба и провести их дальнейшую верификацию и масштабирование с помощью ДЗЗ.

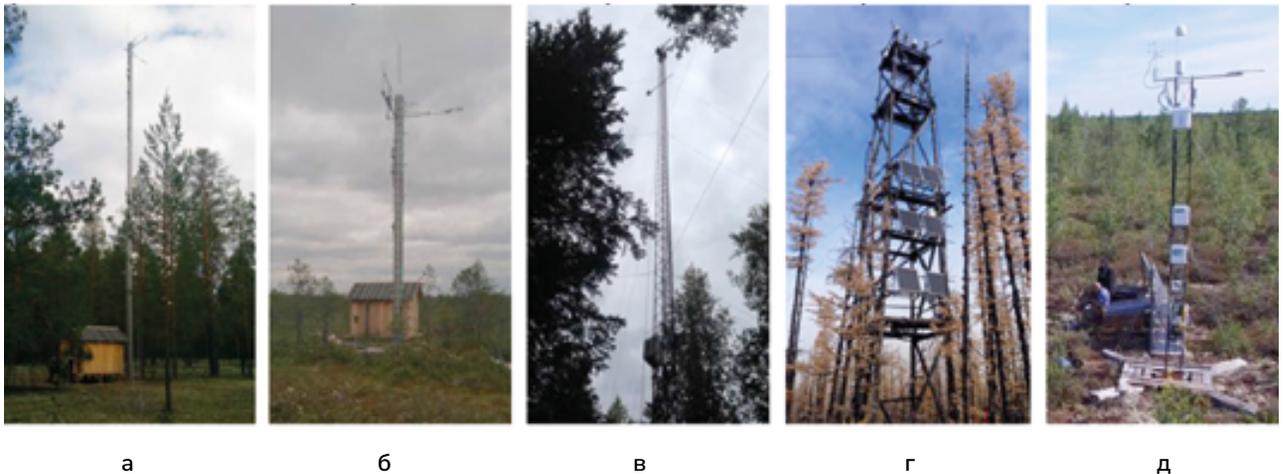
Теоретическая основа МТП базируется на теории турбулентности Колмогорова-Обухова, характеризующей мелкомасштабную структуру пульсаций в полях температуры и скорости турбулентного переноса в атмосфере [12, 13]. Применительно к исследованиям газообмена экосистем с атмосферой вертикальный турбулентный поток парникового газа рассчитывается как ковариация пульсаций вертикальной компоненты скорости ветра ( $w'$ ) и концентрации исследуемого газа ( $c'$ ). Инструментальные наблюдения, организованные в соответствии с теоретическими основами МТП, позволяют осуществлять (квази)непрерывный мониторинг потоков ПГ ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2O$  и др.) и энергии на основе высокочастотных наблюдений за пульсациями скорости ветра (по трем про-

странственным осям) и концентрации газа над исследуемой экосистемой. Системы пульсационных и вспомогательных метеорологических измерений объединяют в единый программно-аппаратный комплекс – эколого-климатическую станцию (ЭКС) (Рисунок 2).

Инструментальные измерения обменных потоков ПГ методом турбулентных пульсаций на территории Красноярского края реализуются на базе 5 станций (региональная сеть «KrasFlux»), расположенных в экосистемах ключевых биоклиматических зон Средней Сибири (Рисунок 3). Ключевое измерительное оборудование на станциях включает в себя различные модификации инфракрасных газоанализаторов закрытого и открытого типа: LI-7200; LI-7210; LI-7500A; LI-7700 (LI-COR Inc., США) и ультразвуковых анемометров: GILL R3-50 (Gill Instruments Ltd., Великобритания) и METEK USA-1 (METEK GmbH, Германия). Оборудование для пульсационных измерений



**Рис. 2.** Схема стандартной эколого-климатической станции (а) и расчетная зона охвата (футпринт) измерений (б)



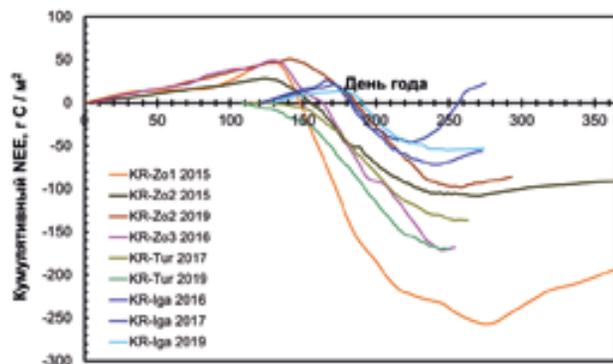
**Рис. 3.** Мачты сети измерений обменных потоков “KrasFLUX”: а) светлохвойный (сосновый) лес — сосняк лишайниковый; б) верховое болото — средний ряб; в) темнохвойный лес — пихтарник осоково-разнотравный (выведена из эксплуатации в 2021 г.); г) светлохвойный (лиственничный) лес — лиственничник кустарничково-зеленомошный; д) плоскобугристый торфяник лесотундры

установлено на мачтах высотой 6–30 м. Площадь охвата измерений (футпринт) обычно не превышает 1 км<sup>2</sup> и ограничивается оценкой локальных (биогеоценологических) сигналов, обеспечивая расчет поглощения и выделения парниковых газов.

В качестве примера на рисунке 4 представлены результаты измерений обменных потоков CO<sub>2</sub> в виде кумулятивных величин его депонирования в экосистемах Красноярского края. Отрицательные величины соответствуют поглощению диоксида углерода из атмосферы, положительные — его выделению из экосистем.

Как следует из приведенного рисунка, ненарушенные экосистемы Красноярского края являются стоками (поглотителями) атмосферного CO<sub>2</sub> в течение вегетационного сезона с диапазоном величин от 50 до 250 гC/м<sup>2</sup>, за исключением плоскобугристого торфяника в подзоне лесотундры, выделившим в атмосферу в засушливый вегетационный период 2016 г. около 30 гC/м<sup>2</sup>.

Покрытие территории Красноярского края, как и Российской Федерации, в целом, станциями мониторинга обменных потоков ПГ пока значительно отстает от Европы, США, Канады и Ки-



**Рис. 4.** Кумулятивный чистый экосистемный обмен (NEE) в экосистемах сети измерений обменных потоков «KrasFLUX»

тая. Так, на долю России приходится 60% площади арктических и таежных экосистем мира, тогда как ее суммарная представленность в базах данных не превышает 16% от общего количества станций измерений во всем Северном полушарии [14]. Следует при этом подчеркнуть, что сформированная сеть наблюдений не охватывает значительную долю классов земного покрова, представленных на территории Красноярского края (таблица 1), которым характерны наибольшие запасы углерода и продуктивность.

### Заключение

Результаты длительных наблюдений обменных потоков ПГ в экосистемах востребованы мировым сообществом при составлении глобальных оценок их выделения и поглощения из атмосферы, калибровке спутниковых измерений, разработке и валидации математических моделей, а также в фундаментальных исследованиях экзогенных и эндогенных факторов, оказывающих влияние на пространственное и временное распределение потоков ПГ. Ряды данных наблюдений за потоками с продолжительностью более 20 лет являются основой для адекватного определения отклика экосистем на происходящие глобальные изменения, а продолжение усилий в проведении мониторинговых исследований экосистемных потоков ПГ позволит получить репрезентативные оценки потоков в различных типах наземных экосистем и дать обоснованные прогнозы изменений их углеродного баланса. Как следствие, существующие сети станций мониторинга должны стать непрерывно развивающимся инструментом для решения широкого круга экологических задач, а также и системным элементом при принятии решений для достижения Российской Федерацией углеродной нейтральности к 2060 г.

**ТАБЛИЦА 1. ОХВАТ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ СТАНЦИЯМИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА АТМОСФЕРЫ.**

№	Классы ландшафтного покрова	Доля, %	Наличие инфраструктуры мониторинга
1	Темнохвойные вечнозеленые леса	6,3	ЭКС: 2000, 2019-2021 гг.
2	Светлохвойные вечнозеленые леса	6,8	ЭКС: 1998-2002 гг., 2012-н/вр
3	Светлохвойные листопадные леса и редколесья	9,2	ЭКС: 2004-н/вр
4	Лиственные леса	8,0	нет
5	Смешанные леса	8,6	нет
6	Болота	10,7	ЭКС: 1998-2002 гг., 2012-н/вр
7	Степи и луга	8,7	ЭКС: 2000 г.
8	Пашня	3,2	нет
9	Тундра	12,8	ЭКС в лесотундре: 2016-н/вр
10	Водоемы	1,8	нет

**Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031–6).**



**Рис. 5.** Снимок эколого-климатической станции Kr-Iga, размещенной на плоскобугристом торфянике в окрестностях г. Игарка

### Литература

- Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Lösschke, S., Möller, V., et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA. 2022. 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В. И., Краев Г. Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. – 2011. – № 6. – С. 16–28.
- Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы [Электронный ресурс] / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Б. Н. Моисеев, В. В. Страхов // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. – 2016. – № 3. – С. 36–85. URL: <http://hi.vniilm.ru/>
- Schepaschenko D., Chave J., Phillips O. L., Lewis S. L., Davies S. J., Réjou-Méchain M., Zo-Bi I. C. The Forest Observation System, building a global reference dataset for remote sensing of forest biomass // Scientific Data. – 2019. – № 6(1). – P. 1–11.
- Dolman A. J. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods // Biogeosciences. – 2012. – Vol. 9. – № 12. – P. 5323–5340.
- Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 69–92.
- Куричева О.А., Авилов В. К., Варлагин А. В., Гитарский М. Л., Дмитриченко А. А., Дюкарев Е. А., Загирова С. В., Замолодчиков Д. Г., Зырянов В. И., Карелин Д. В., Карсанаев С. В., Курганова И. Н., Лапшина Е. Д., Максимов А. П., Максимов Т. Х., Мамкин В. В., Марунич А. С., Мигловец М. Н., Михайлов О. А., Панов А. В., Прокушкин А. С., Сиденко Н. В., Шилкин А. В., Курбатова Ю. А. Мониторинг экосистемных потоков парниковых газов на территории России: сеть RuFlux // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. – том 87. – № 4. С. 512–535.
- Baldocchi D. D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future // Global change biology. – 2003. – Vol. 9(4). – P. 479–492.
- Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis / Aubinet M., Vesala T., Papale D. (eds.). Dordrecht: Springer Dordrecht. 2012. 438 p.
- Burba G. Eddy Covariance Method for Scientific, Regulatory, and Commercial Applications. Lincoln: LI-COR Biosciences. 2022. 702 p.
- Bastviken D., Wilk J., Duc N. T., Gålfalk M., Karlson M., Neset T. S., Opach T., Enrich-Prast A., Sundgren I. Critical method needs in measuring greenhouse gas fluxes // Environmental Research Letters. – 2022. – № 17(10). – P.104009
- Obukhov A. M. Characteristics of the micro-structure of the wind in the surface layer of the atmosphere // Izv. AN SSSR ser. Geofiz. – 1951. – Vol.3. – P. 49–68.
- Foken T., Nappo C. J. Micrometeorology. Berlin: Springer, 2008. Vol. 2. 308 p.
- Virkkala A.-M., Natali S. M., Rogers B. M., Zona D., Zyrjanov V. I. The ABCflux database: Arctic-boreal CO<sub>2</sub> flux observations and ancillary information aggregated to monthly time steps across terrestrial ecosystems // Earth System Science Data. – 2022. – № 14(1). – P. 179–208.

# МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

## НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ТЕПЛОВЫХ АНОМАЛИЙ ПОВЕРХНОСТИ



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук – обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28

### Пономарев Евгений Иванович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
лаборатории мониторинга леса

тел.: (391) 249-40-92, evg@ksc.krasn.ru

### Пономарева Татьяна Валерьевна

кандидат биологических наук, заведующий лаборатории  
техногенных лесных экосистем

bashkova\_t@mail.ru

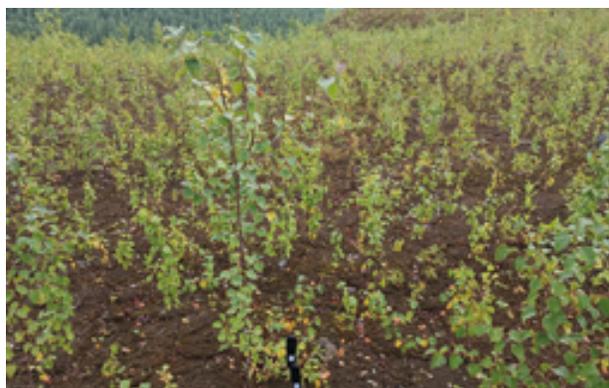
### Якимов Никита Дмитриевич

младший научный сотрудник лаборатории космических  
систем и технологий

nyakimov96@mail.ru

**Значительные площади Сибири ежегодно подвергаются деструктивным факторам, результатом чего становятся масштабные повреждения растительного и почвенного покрова.**

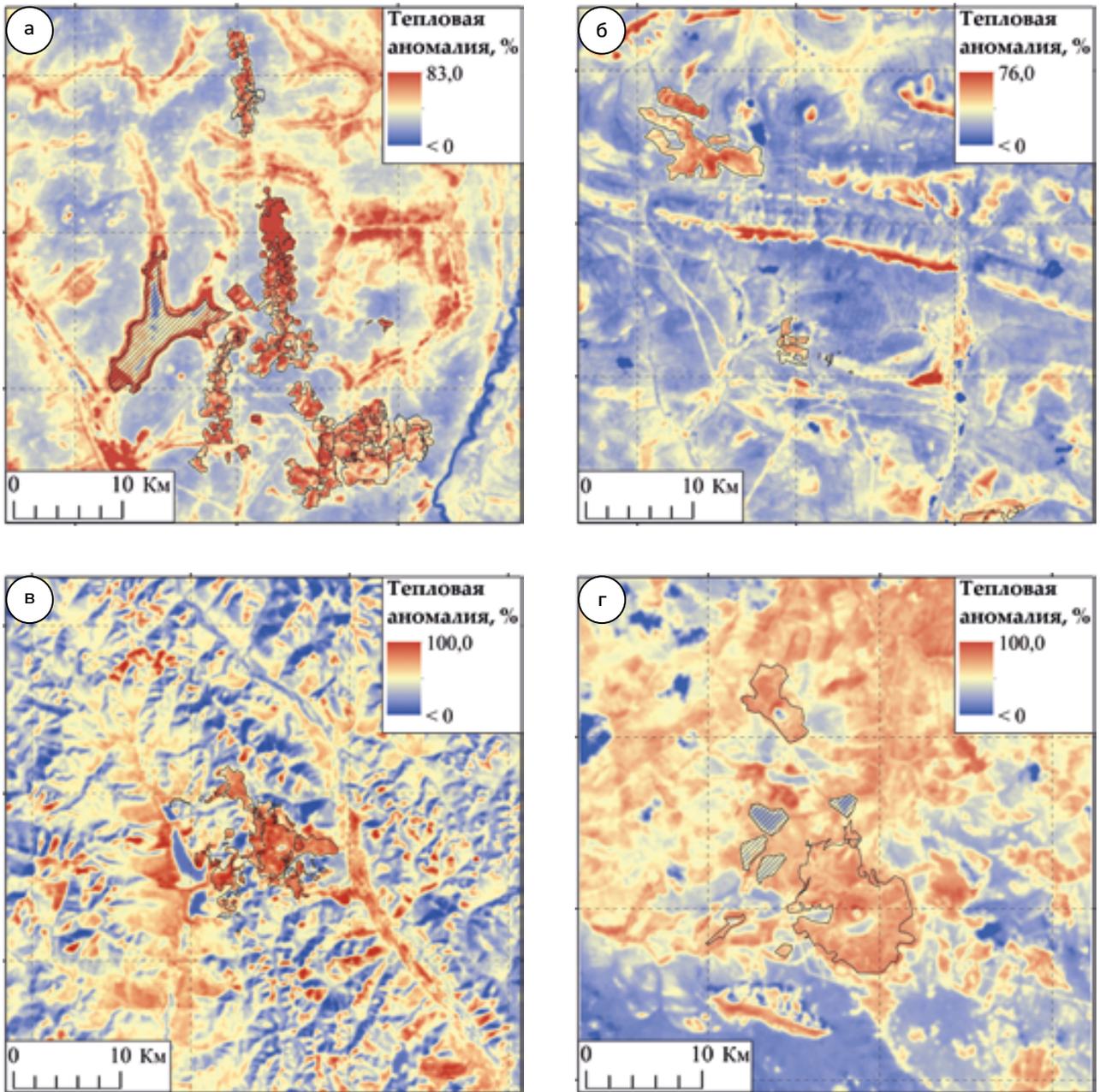
Факторы воздействия можно разделить на естественные (природные пожары) и антропогенные (добыча полезных ископаемых, строительство инфраструктурных объектов и др.). Для первой



**Рис. 1.** Заращение отвалов вскрышных пород самосевом березы и хвойных пород в районе карьерной добычи золота

группы характерна большая площадь нарушений и естественный процесс восстановления, а для второй группы свойственно локальное расположение и низкая скорость восстановительных процессов растительного покрова или, в отдельных случаях, полная трансформация экосистем. В мировой практике одним из наиболее важных направлений тематического анализа является использование спутниковых средств и спектральных индексов для мониторинга состояния территорий. Использование вегетационных индексов позволяет оценить трансформацию растительного покрова в условиях успешного восстановления на протяжении ограниченного временного интервала до 5–7 лет, в то время как тепловые характеристики подстилающей поверхности сохраняют признаки трансформации территорий в течение более длительного периода.

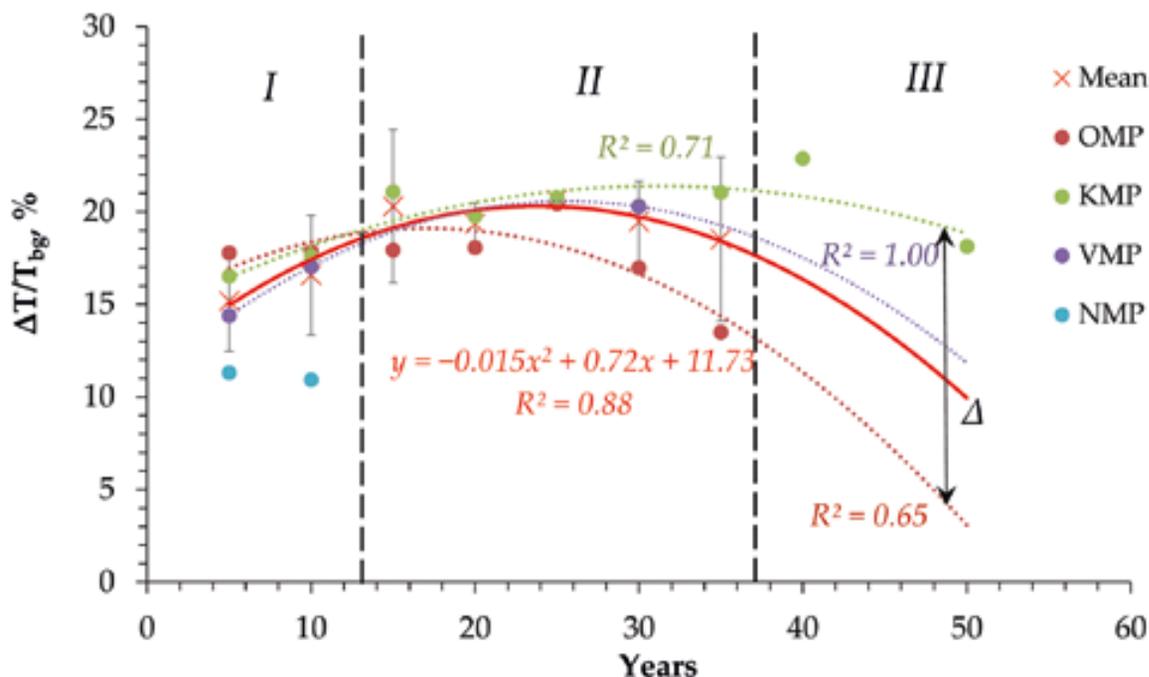
Детализация степени нарушенности отдельных участков позволяет прогнозировать ско-



**Рис. 2.** Тепловые аномалии на участках золоторудных месторождений, а – Куранахское, б – Вернинское, в – Наталкинское, г – Олимпиадинское. Июль, 2022

рость и успешность лесовосстановительных процессов. Техногенные воздействия на растительность и почвенный покров всегда сопровождаются изменением теплового режима поверхности, вызванного изменением спектральных свойств поверхности (альбедо) и трансформацией теплоизолирующего почвенного покрова. Таким образом, изменение теплового поля и долговременная динамика тепловых аномалий являются до-

полнительными важными показателями состояния и функционирования компонентов экосистем. Существенное влияние на трансформацию почвенного покрова и структуры почвы оказывает промышленное освоение золоторудных месторождений. На территории добычи золота образуются техногенные ландшафты, при этом почвенный и растительный покров формируется в результате первичной сукцессии на техногенных грунтах (рисунок 1).



**Рис. 3.** Динамика значений относительной тепловой аномалии для техногенных участков золоторудных месторождений: (x) среднее для всех исследуемых территорий в таежной зоне; (ОЗМ) Олимпиадинское, (КЗМ) Куранах, (ВЗМ) Вернинское, (НЗМ) Наталка; стадия трансформации экосистем: I – инициальная, II – активная, III – восстановительная пост-техногенная

На отвалах, карьерах, промышленных площадках создаются специфические тепловые условия, проявляющиеся как тепловые аномалии поверхности. Скорость почвообразования и зарастания в таких экосистемах очень сильно зависит от свойств субстрата и внешних (климатических и биогенных) факторов.

Для осуществления мониторинга состояния нарушенных территорий разработан способ классификации нарушенности растительности и напочвенного покрова на основе динамики аномалии теплового фона в летний период по спутниковым измерениям в инфракрасном диапазоне. Используются спутниковые снимки среднего пространственного разрешения (15–100 м) Landsat-8/OLI/TIRS (Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor), Landsat-7 ETM (Enhanced Thematic Mapper), Landsat-4/5 TM (Thematic Mapper), а также съемка Landsat-1 MSS (Multispectral Scanner System) для обнаружения более ранних стадий повреждений. Дешифрование трансформированных участков выполняется по визуальным критериям и спектральным признакам. Примером применения разработанной методики является оценка эко-

логического состояния территорий, находящихся на разных стадиях посттехногенного состояния: Наталкинское месторождение, разработка с 1990 г.; Куранахское рудное поле, разработка с 1965 г.; Вернинское месторождение, эксплуатация с 2011 г.; Олимпиадинское месторождение, эксплуатация с 1990 г. Данные температур калибруются и усредняются для нарушенных участков и анализируются относительно данных прилегающих фоновых участков ( $\Delta T/T_{фон}, \%$ ). Полученные значения средствами ГИС преобразуются в карты тепловых полей с выделением уровня аномалий (рис. 2).

Участки с посттехногенными нарушениями характеризуются значительным изменением теплового режима в летний период по отношению к фону. Тепловые аномалии в среднем сохраняются на уровне 15–25% в конце лета (август) даже спустя 50 лет (Куранахское месторождение), что возможно при практически полном отсутствии восстановления растительности (рис. 3). Наблюдается рост тепловых аномалий за счет увеличения площади нарушения и процессов в прилегающих буферных зонах. В периоды более интенсивного прогрева



а

б

в

**Рис. 4.** а – измерение температуры в профиле техногенно нарушенных почв, б – радиометрическая съемка поверхности техногенно нарушенной почвы с помощью тепловизора, в – тепловизионная съемка вертикальной стенки почвенного профиля

(июль) такие аномальные превышения температуры могут составлять уже до 50%, а на некоторых участках – до 100% относительно фоновых характеристик.

Период регистрации аномалий теплового поля достигает >50 лет даже в условиях частичного восстановления напочвенного покрова, включая стадии: начального воздействия (I), активной эксплуатации (II) и посттехногенного восстановления (III). При увеличении техногенной нагрузки на территории Сибири можно ожидать дальнейшее увеличение площади участков со значительным изменением тепловых режимов по сравнению с фоном. С учетом длительности процесса стабилизации тепловых свойств поверхности, а также значительного остаточного уровня тепловой аномалии можно предполагать увеличение биосферной роли «неотехногенных» экосистем. Наиболее значимые процессы, связанные с этим эффектом, могут наблюдаться в зоне мерзлоты, где дополнительный прогрев влияет на динамику сезонно-талого слоя почвы.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, <https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки



**Рис. 5.** Патент

Георадарная съемка почв



# МОБИЛЬНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ДЛЯ МАРШРУТНОГО МОНИТОРИНГА БАЛАНСА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ



Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения Российской  
академии наук – обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, г. Красноярск,  
Академгородок, д. 50, стр. 28

## Цуканов Александр Александрович

ведущий инженер лаборатории биогеохимических  
циклов в лесных экосистемах

zukans@mail.ru

## Панов Алексей Васильевич

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией  
экспериментальной и прикладной экологии

alexey.v.panov@gmail.com

## Прокушкин Анатолий Станиславович

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией  
биогеохимических циклов в лесных экосистемах

prokushkin@ksc.krasn.ru

## Зырянов Вячеслав Игоревич

кандидат биологических наук, научный сотрудник  
лаборатории экспериментальной и прикладной экологии

zyryanov-vi@ya.ru

## Колосов Роман Алексеевич

младший научный сотрудник лаборатории  
экспериментальной и прикладной экологии

kolosov.ra@ksc.krasn.ru

## Анурев Евгений Александрович

младший научный сотрудник лаборатории  
экспериментальной и прикладной экологии

djekizion@mail.ru

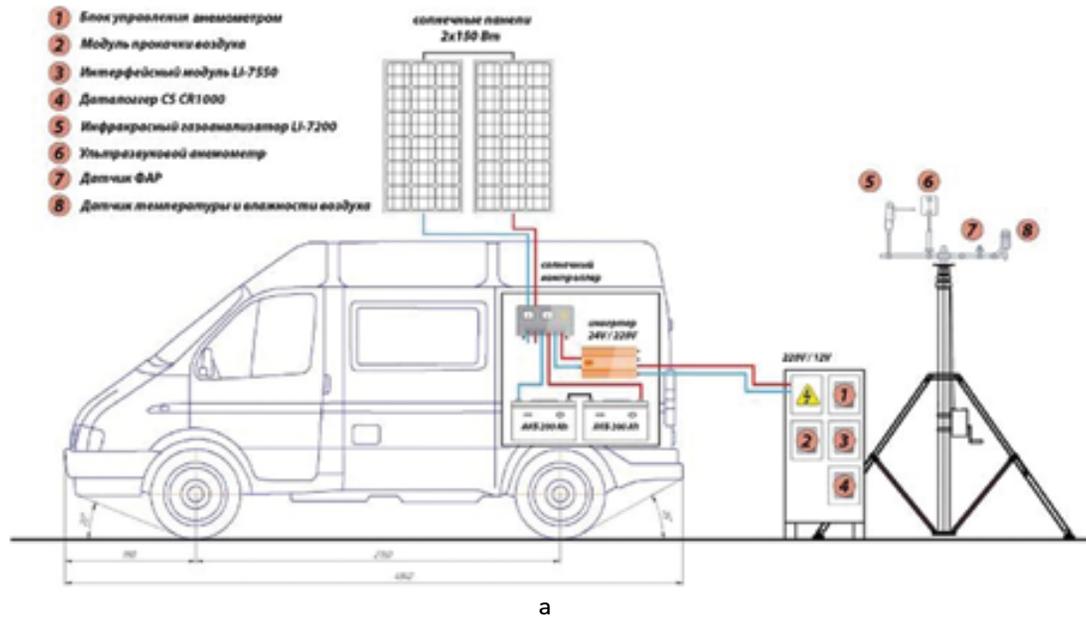
Инструментальные наблюдения и моделирование свидетельствуют, что за последние десятилетия континентальные территории северного полушария в средних и высоких широтах выступали объектом наиболее значительного воздействия со стороны изменений параметров климата и окружающей среды, которое по прогнозным оценкам будет сохраняться в течение всего XXI столетия (IPCC, 2019; Parfenova et al., 2019). Согласно Третьему Оценочному докладу об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2022), проявления изменений климата характеризуются исключительным многообразием и неоднозначностью последствий для природной среды, экономики и населения РФ. При реализации сценариев с увеличением выбросов диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) – одного из важнейших климатически-активных (парниковых) газов (ПГ), поглотители (стоки) углерода в океане и на суше будут менее эффективны с точки зрения замедления накопления  $\text{CO}_2$  в атмосфере. В связи с этим мониторинг обменных потоков  $\text{CO}_2$  выступает актуальной задачей для оценки функционирования экосистем в условиях изменения параметров климата и окружающей среды с учетом повышенной антропогенной нагрузки.

Одним из наиболее теоретически обоснованных методов для измерения потоков ПГ между экосистемой и атмосферой выступает метод турбулентных (микродинамических) пульсаций (МТП) (Бурба и др., 2016), который позволяет получить репрезентативные балансовые оценки  $\text{CO}_2$  для участков на площади от сотен метров до нескольких километров (Schmid et al., 1994). Теоретический принцип МТП (Обухов, 1949; Swinbank, 1951) основывается на том, что чистый перенос вещества между атмосферой и однородной плоской поверхностью земли осуществляется в одном измерении, и плотность вертикального потока рассчитывается как ковариация между турбулентными вариациями вертикальной скорости ветра и концентрации исследуемого газа (тепла, энергии) (Бурба и др., 2016; Кривенко и др., 2019). За счет наличия атмосферной турбулентности регистрация этих изменений должна осуществляться с высокой частотой. Метод достаточно давно и успешно используется и предполагает долговременные стационарные измерения для получения суточных, сезонных и многолетних величин поглощения  $\text{CO}_2$  конкретной экосистемой, которая между тем не всегда однородна по своим лесорастительным характеристикам и в границах, которые могут существенно варьировать в течение периода интегрирования сигнала.

В контексте развития современной научной приборно-инструментальной базы и формирования продвинутых методов математической обработки результатов наблюдений всё большее внимание уделяется возможностям краткосрочного (часы ~ дни) применения МТП с мобильной доставкой и размещением оборудования в полевых условиях. В целом, пионерные и на настоящий момент практически единичные для территории РФ результаты мобильных наблюдений (Кривенко и др., 2019) показали достаточную информативность краткосрочных измерений с применением МТП для оценки потоков  $\text{CO}_2$  в экосистеме в течение дневного времени суток. Дальнейшее развитие и тестирование данного подхода *in situ* позволяет в перспективе обеспечить оценки обменных потоков ПГ на исследуемом участке с высокой частотой измерений и с пространственной дискретностью в случае неоднородности объекта, при этом исключая целый ряд вопросов организации стационарных измерений: затрат на приобретение и размещение оборудования, обеспечения сохранности, организации стабильного энергообеспечения.

На территории Красноярского края в Приенисейской Сибири стационарная сеть наблюдений углеродного обмена методом МТП существует и развивается с 2004 года, объединяя на настоящий момент пять эколого-климатических станций (ЭКС) — тестовых мониторинговых полигонов, оснащенных приборно-инструментальной базой и размещенных в биогеоценозах ключевых биоклиматических провинций бассейна р. Енисей в подзонах средней и северной тайги, и лесотундры (Park et al., 2021; Ольчев и др., 2022; Olchev et al., 2022). Сопряженный с оценками обменных потоков  $\text{CO}_2$ , анализ метеоклиматической информации позволяет не только фиксировать текущие величины секвестрации углерода экосистемами разных природно-климатических зон региона, но и давать прогнозные оценки их вариации в зависимости от динамики погодных условий. Однако локальный характер наблюдений (~ 1 кв. км) не позволяет адекватно охарактеризовать всю мозаичность ландшафтов даже в пределах сходных лесорастительных условий, а часть наземных экосистем региона, ввиду финансовых и технических ограничений на размещение в них дополнительных приборных комплексов, и вообще не представлена в экспертных оценках их секвестрационной способности. В частности, не учтены природные комплексы в южных районах Красноярского края: луговые, степные и агроэкосистемы. Вместе с тем, согласно современным данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2019), вклад различных видов землепользования (сельского хозяйства, лесного хозяйства и др.) в суммарную эмиссию ПГ в атмосферу может превышать 20% и одновременно выступать мощным стоком  $\text{CO}_2$ .

В решении данной задачи альтернативой стационарным наблюдениям выступает организация маршрутного мониторинга с использованием автотранспортного средства (АТС) для доставки и мобильного размещения оборудования *in situ*, что позволит с различной степенью оперативности получить величины секвестрации  $\text{CO}_2$  в биогеоценозах, а единственным ограничением работ может быть только полное отсутствие дорожной сети. Прототип мобильной обсерватории, размещенной на базе АТС повышенной проходимости модели ГАЗ-27527 Соболь (рис. 1) создан и тестируется учеными и специалистами Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН — обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (г. Красноярск). В процессе формирования и оснащения мобильной обсерватории было



**Рис. 1.** Схема (а) и внешний вид (б) мобильной обсерватории на базе АТС (ГАЗ-27527) для маршрутного мониторинга обменных потоков  $\text{CO}_2$  в экосистемах

проведено переоборудование АТС, в частности: монтаж накрывного багажника и задней лестницы, размещение системы автономного энергообеспечения (солнечные панели и аккумуляторные батареи (АКБ)), термоизоляция кузовного отсека АТС (лабораторный модуль), монтаж стеллажей и стойки для размещения аналитиче-

ского и периферийного оборудования в лабораторном модуле. Принципиальная электрическая схема системы энергообеспечения обсерватории состоит из (1) входного источника (поликристаллические фотоэлектрические панели), (2) контроллера солнечных панелей, подобранного из расчета величины суммарного номинального

напряжения и максимальной отбираемой мощности, и (3) преобразователя напряжения (инвертора) 24DC/220AC. Солнечные панели на крышном багажнике АТС размещены по принципу увеличения выходного напряжения, что минимизирует его потери с сохранением силы тока. Оптимальный режим накопления заряда с максимальным КПД преобразования ~ 98% обеспечивает наибольшую мощность с фотоэлектрических панелей, и позволяет существенно увеличить срок службы АКБ.

Измерительный комплекс обсерватории состоит из инфракрасного газоанализатора (ИКГА) закрытого типа модели LI-7200 (LI-COR Inc., США) с управляющим модулем LI-7550 (LI-COR Inc., США), ультразвукового анемометра (УЗА) модели GILL R3-50 (Gill Instruments Ltd., Великобритания), метеорологического оборудования и центрального регистратора данных CR10X (Campbell Scientific, Великобритания). Комплекты газоаналитического и метеорологического оборудования размещаются в полевых условиях на мобильной телескопической мачте квадратного сечения ММТ-7.0 (рис. 1 а) с диапазоном изменения высоты измерений от 2 до 7 м для адаптации к различным условиям окружающей среды на участке наблюдений. Развертывание обсерватории в режим измерений занимает менее 5 часов, при этом часть рабочих модулей (рис. 1б и рис. 2) размещается в мобильных боксах у основания мачты при ее монтаже: интерфейсный блок ИКГА, пневматический блок собственной разработки, модуль управления УЗА, и центральный регистратор данных CR10X. Стоит также отметить, что в перспективе обсерватория предполагает двойной режим работы: (1) оценка обмена  $\text{CO}_2$  между экосистемой и атмосферой и/или (2) высокоточный маршрутный мониторинг концентрации ключевых ПГ ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  и др.) в приземной атмосфере. В последнем случае необходимое газоаналитическое оборудование (исходя из поставленных задач) и калибровочные воздушные смеси, сертифицированные ВМО, например X2007 для  $\text{CO}_2$  (Zhao, Tans, 2006) и X2004A для  $\text{CH}_4$  (Dlugokencky et al., 2005), размещаются в лабораторном модуле обсерватории, а на мачте монтируются воздухозаборник и метеорологическое оборудование.

В настоящий момент проводится настройка и тестирование всего комплекса оборудования обсерватории и идет поиск технических решений для рабочих нюансов, ожидаемых при выполнении исследований. В частности, уже на данном этапе очевидно, что реализация маршрут-



**Рис. 2.** Мобильная обсерватория с развернутой мачтой и комплектами газоаналитического, метеорологического и периферийного оборудования

ных наблюдений МТП потребует применения многоступенчатой фильтрации данных помимо основной обработки. В случае с ранее представленными результатами работ (Кривенко и др., 2019), при реализации измерений в течение 20–40 часов доля достоверных значений достигала 10–40%, что, в целом, позволяло авторам оценить внутрисуточные изменения величин секвестрации  $\text{CO}_2$  для участка наблюдений, а при изменениях направлений ветра — с соседних природных объектов. Сходные результаты можно предположить и при выполнении наших работ. Также ключевыми факторами будут выступать корректность оценки показателя дальности зоны охвата мобильной системы измерений и направления ветра в качестве критерия пространственной фильтрации гетерогенных участков и разделения сигналов с разных участков и ландшафтных единиц. Как также отмечено ранее (Кривенко и др., 2019), основная часть данных

наблюдений (~ 25–40%) может быть отфильтрована именно на этом этапе. Помимо реализации исследований с применением МТП планируется, что мобильные наблюдения будут дополнены измерениями выделения CO<sub>2</sub> с поверхности почвы методом закрытых динамических камер с использованием ИКГА EGM-5 (PP Systems, США), что позволит сопоставить величины секвестрации углерода с экологическими условиями на участке наблюдений.

## Заключение

В контексте минимизации существующих неопределенностей в оценках секвестрационной способности экосистем Приенисейской Сибири (территория Красноярского края), ключевым преимуществом реализации маршрутных исследований на базе мобильной обсерватории выступает возможность мониторинга природных комплексов с повышенной антропогенной нагрузкой и различными практиками землепользования в южных районах Красноярского края: луговых, степных и агроэкосистемах. Данные экосистемы в целом рассматриваются достаточно серьезным источником неопределенности при прогностических оценках будущего наземного стока (резервуара) углерода, ввиду наблюдаемой миграции границы леса и расширения ареалов лесостепной и степной зон (Parfenova et al., 2019) и необходимости оценки земель сельскохозяйственного назначения и сценариев изменения их роли в сохранении/высвобождении углерода. Запланированные высокоточные маршрутные исследования в южных аграрных районах региона исследований позволят получить оценки текущего потенциала секвестрации углерода для различных агроэкосистем, в том числе с учетом вклада разных типов земель и сельскохозяйственных культур, и углеродного следа от их использования при разных сценариях землепользования, применительно к физико-географическим, растительным и климатическим условиям юга Красноярского края с перспективой дальнейшего масштабирования на другие территории Сибири.

Работы выполнены в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах».

## Литература

1. IPCC: The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/srocc/home/> (Дата обращения: 09.02.2024).
2. Parfenova E., Tchebakova N., Soja A. Assessing landscape potential for human sustainability and 'attractiveness' across Asian Russia in a warmer 21st century // *Environ. Res. Lett.* — 2019. 14 065004.
3. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. — 124 с.
4. Бурба Г.Г., Курбатова Ю.А., Куричева О.А., Авилов В.К., Мамкин В.В. Метод турбулентных пульсаций. Краткое практическое руководство. — М.: ИПЭЭ им. А.Н.Северцова РАН, 2016. — 223 с.
5. Schmid H. P. Source areas for scalar and scalar fluxes // *Bound.-Lay. Meteorol.* — 1994. — № 67. P. 293–318.
6. Обухов А.М. Структура температурного поля в турбулентном потоке // *Изв. АН СССР. Сер. Геофизика и география.* — 1949. — Т. 13, — № 1. — С. 58–59.
7. Swinbank W. C. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere // *J. Meteorol.* — 1951. -Vol.8(3). P. 135–145.
8. Кривенко Л.Г., Суворов Г.Г., Авилов В.К., Сирин А.А. Измерение потоков CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O методом турбулентных пульсаций: использование мобильной установки и учет изменяющейся зоны охвата // *Оптика атмосферы и океана.* — 2019. -Т.32, — № 11. С. 942–950.
9. Ольчев А.В., Зырянов В.И., Сатосина Е.М., Фокеев Е.В., Мухартова Ю.В., Новенко Е.Ю., Прокушкин А.С. Сезонная изменчивость потоков диоксида углерода, явного и скрытого тепла в северотаежном лиственничном лесу Средней Сибири по данным пульсационных измерений // *Метеорология и гидрология.* — 2022. — № 10. С. 111–120.
10. Park S.-B., Knohl A., Migliavacca M., Thum T., Vesala T., Peltola O., Mammarella I., Prokushkin A., Kolle O., Lavrič J., Park S. S., Heimann M. Temperature control of spring CO<sub>2</sub> fluxes at a coniferous forest and a peat bog in Central Siberia // *Atmosphere.* — 2021. — Vol.12(8): 984.
11. Olchev A. Zyrianov V., Panov A., Satosina E., Mukhartova I., Novenko E., Prokushkin A. Seasonal variability of carbon dioxide and methane fluxes in a subarctic peat bog in North-Central Siberia // *Proceedings.* — 2022. — Vol. 69. — P. 1–6.
12. Zhao C.L., Tans P. P. Estimating uncertainty of the WMO mole fraction scale for carbon dioxide in air // *J. Geophys. Res.* — 2006. — Vol. 111(D8). — P. 1–10.
13. Dlugokencky E. J., Myers R. C., Lang P. M., et al. Conversion of NOAA atmospheric dry air CH<sub>4</sub> mole fractions to a gravimetrically prepared standard scale // *J. Geophys. Res.-Atmos.* — 2005, -Vol. 110(D18). — P. 1–8.

6

---



# Экосистемные услуги лесов

114

Разработка лесохозяйственных и экосистемных мероприятий по повышению средозащитных функций водоохранных лесов Иркутской области на основе комплексной лесоводственно-экологической оценки

# РАЗРАБОТКА ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЭКОСИСТЕМНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

## ПО ПОВЫШЕНИЮ СРЕДОЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ ВОДООХРАННЫХ ЛЕСОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЛЕСОВОДСТВЕННО- ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ



Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Братский государственный  
университет»

665709, г. Братск, ул. Макаренко, д. 40

### **Рунова Елена Михайловна**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор  
базовой кафедры «Воспроизводства и переработки лесных  
ресурсов»

тел.: (3953) 34-40-00, доб. 370, runova0710@mail.ru

### **Гарус Иван Александрович**

кандидат технических наук, доцент, заведующий базовой  
кафедрой «Воспроизводства и переработки лесных  
ресурсов»

тел.: (3953) 34-40-00, доб. 370, ivan-garus@yandex.ru

**Целью разработки ставится  
выделение водоохранных лесов  
в условиях Иркутской области,  
оценка лесоводственно-  
таксационных показателей их  
состояния и выявление способов  
повышения их защитных свойств.**

### **Задачами разработки являются:**

1. Анализ состояния водоохранных лесных экосистем Иркутской области;
2. Определение способов повышения защитных свойств водоохранных лесов;
3. Разработка моделей защитных лесных насаждений непрерывного пользования в зависимости от целевой функции;
4. Разработка предложений предложения по реализации системного ведения лесного хозяйства в лесах, расположенных в водоохранных зонах.

### **Аннотация разработки**

Выделенные Лесным кодексом Российской Федерации (далее ЛК РФ) в защитных лесах в отдельную категорию «леса, расположенные в водоохранных зонах» выполняют важнейшие экологические функции. Для них установлен более жесткий правовой режим, чем для лесов других категорий, за исключением заповедных лесов ООПТ и заповедных лесных участков, что усложняет их содержание и использование. Так, в них запрещены сплошные рубки лесных насаждений, в том числе в целях воспроизводства лесов, а также создание и эксплуатация лесных плантаций (статья 104 ЛК РФ).

Ограничения в проведении лесохозяйственных мероприятий в водоохранных лесах устанавливались и предшествующим законодательством. Однако состояние лесов этой категории по лесоводственным и таксационным показателям не отвечает установленным требованиям сохранности и не обеспечивает эффективное выполнение ими целевых функций. Это является в значительной мере результатом ведения лесного хозяйства и отражает уровень их соответствия природным свойствам и целевому назначению. В связи с этим оценка лесоводственного обеспечения содержания и использования лесов водоохранных зон, как и других категорий защитных лесов, осуществляется поэтапно, начиная с этапов проектирования/планирования с целью дифференцированного выявления конкретных недостатков, определения и принятия эффективных мер по их устранению. Уже при проведении лесоустройства не все выявленные участки, нуждающиеся в назначении мероприятий по лесоводственным признакам, включаются в лесоустроительный проект в связи с экономическими и другими причинами.

Несмотря на это, эффективность лесохозяйственного производства сдерживается отсутствием комплексного подхода в отношении ведения лесных ресурсов и использование целевых систем лесохозяйственных мероприятий для обеспечения всех видов лесопользования с обязательным учетом природных особенностей лесов. В настоящее время необходимо новое решение для защиты защитных лесов от пожаров и уничтожения вредителей с помощью безопасных биосредств. В будущем планируется использование новых технологий для создания лесных насаждений, приспособленных не только к жестким природным условиям, но и к изменению климатической обстановки.

С целью создания оптимальных условий для развития Иркутской области и обеспечения экономического роста в среднесрочной перспективе, а также для обеспечения экологической безопасности, на побережьях и акваториях водохранилищ Иркутской области производился анализ состояния лесного фонда методами визуальной фиксации, космическим мониторингом лесных насаждений, средствами аэронавигации (БПЛА).

В результате исследований собраны данные, характеризующие оптимальный состав и структуру водоохранных лесов, эффективность проведения различных видов лесоводственных

мероприятий, особенно рубок лесных насаждений. Эти данные подтверждают необходимость системного подхода к сохранению и использованию лесов водоохранных зон в современных социально-эколого-экономических и законодательных условиях.

Многоплановое значение лесов в современных условиях приобретает особую актуальность. Общая характеристика защитных насаждений становится неэффективной, поскольку лесам каждой защитной категории присущи только им характерные особенности по составу, строению, лесоводственно-таксационным показателям и времени воздействия на окружающую среду. Повышение их экологической продуктивности связано в первую очередь с породным составом лесов, однако методические основы реформирования мягколиственных и хвойных лесных насаждений разработаны недостаточно. Редко анализируется состояние лесовосстановительного процесса под влиянием несплошных рубок. Еще меньше работ посвящено эффективности выполняемых функций защитными лесными насаждениями.

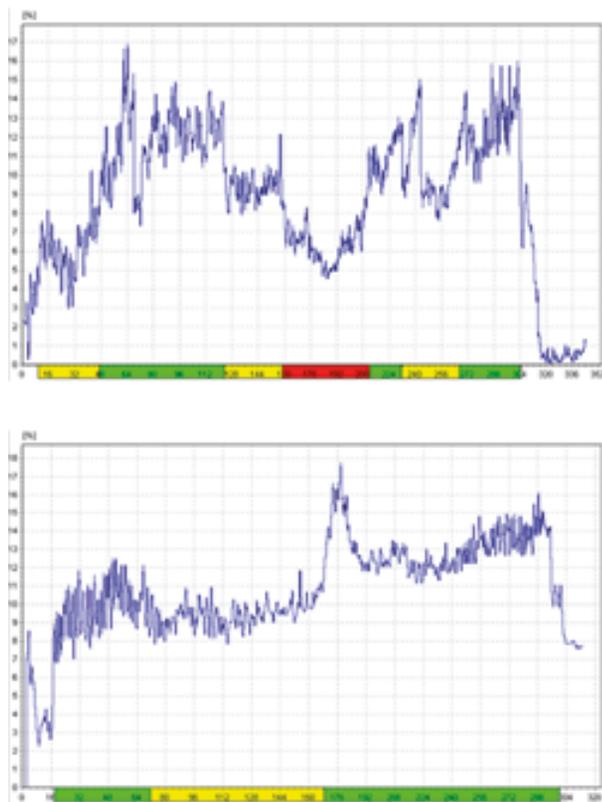
В этой связи разработка и внедрение более эффективных методов и способов их воспроизводства и использования по целевым функциям являются актуальными.

### **Инструментальные методы оценки состояния древесных насаждений**

Современные инструментальные методы исследования способны дать исчерпывающую характеристику структуры древесины. Рентгенографическое исследование, магнитно-резонансная томография, электронная сканирующая микроскопия позволяют достоверно определить вид, форму, размеры и положение пороков древесины, наличие инородных тел, размеры и форму годичного слоя и его составных частей, размеры микроструктурных элементов и пор, степень разрушения клеток, породу древесины и многое другое. Однако все эти эффективные методики на данном этапе развития техники применяются исключительно в лабораторных условиях. Это обусловлено как стационарностью и тонкостью настройки оборудования, ее высокой стоимостью и сложностью эксплуатации, так и вопросами безопасности человека и среды (в случае рентгенографии). Таким образом, их сложно или совершенно невозможно применять в целях мониторинга живой флоры.



**Рис. 1.** Пример проведения измерения с использованием Resistograph®



**Рис. 2.** Пример резистограмм перпендикулярных профилей для модельного дерева №80

Стандартные методы полевых и лабораторно-полевых исследований состояний древесины (такие как взятие керна) информативны и практичны, однако обладают большой степенью инвазивности. При выполнении процедуры изъятия керна опасность для растения несет не только проникновение инородного тела в структуру древесины с возможностью занесения сторонней инфекции, но и полость, остающаяся на месте этого изъятия. Даже при условии соблюдения всех мер безопасности риск загнивания в этом месте значительно повышается. Если дерево уже ослаблено, разрушение и/или заражение вследствие механического нарушения целостности тканей еще более вероятно. Также в случае, если гниль уже начала развиваться в толще ствола, при изъятии керна создаются дополнительные условия для ее укорененного распространения. Чем глубже рана, тем потенциально значительней она с точки зрения начала распада. Мелкие отверстия, которые охватывают не более чем два годовичных кольца, несут самые низкие риски.

С учетом ценности городских древесных насаждений, затруднительности их замены и повышенной внешней нагрузки на них при подборе оборудования для проведения исследования предпочтение было отдано менее инвазивным методам оценки качества древесины.

Первым выбранным методом исследования является метод оценки сопротивления древесины сверлению. По мнению некоторых специалистов современное оборудование, основанное на данном методе, не уступает в точности рентгенографии. Лидером в этой области является немецкая компания Rinntech и ее оборудование Resistograph®

Resistograph® представляет собой металлический корпус в виде трубы, с размещенной в нем тонкой буровой иглой и механизмом подачи. Для проведения измерения корпус прибора прислоняется к внешней поверхности ствола и в древесину со скоростью 500 мм в минуту подается буровая игла толщиной 1–3 мм. По мере продвижения иглы сквозь материал производится электронное измерение и фиксирование плотностных сопротивлений с синхронным выводом результатов на встроенный принтер в виде резистограмм и сохранением на флеш-накопителе.

Сверление производилось на высоте груди (110–130 см) в двух перпендикулярных направлениях (рисунок 1). Результаты двух измерений, полученных на одном модельном дереве, усредня-



**Рис. 3.** Пример проведения измерения с использованием прибора Arbotom®

лись для нивелирования погрешности измерения. Данная процедура была введена в связи с точностью проведения измерения и, как следствие, возможным искажением цельной картины профиля. На рисунке 2 приведен пример двух резистограмм, полученных с одного модельного дерева. На данном примере наглядно представлена возможность значительного расхождения показаний прибора при изменении направления сверления.

При проведении оценки на резистограммах зеленым цветом выделяется здоровая древесина, желтым — начальная стадия деструкции, красным — деструкция на развитой стадии. Программное обеспечение Resistograph® Decom не имеет стандартизированной градуировочной шкалы, которая бы позволила провести прямую интерпретацию результатов в зависимости от показателей прибора. Для расшифровки полученной резистограммы необходимо провести экспертную оценку графика с учетом полного рисунка профиля, наличия перепадов высот в нем и искажений естественных колебаний плотности между ранней и поздней древесиной.

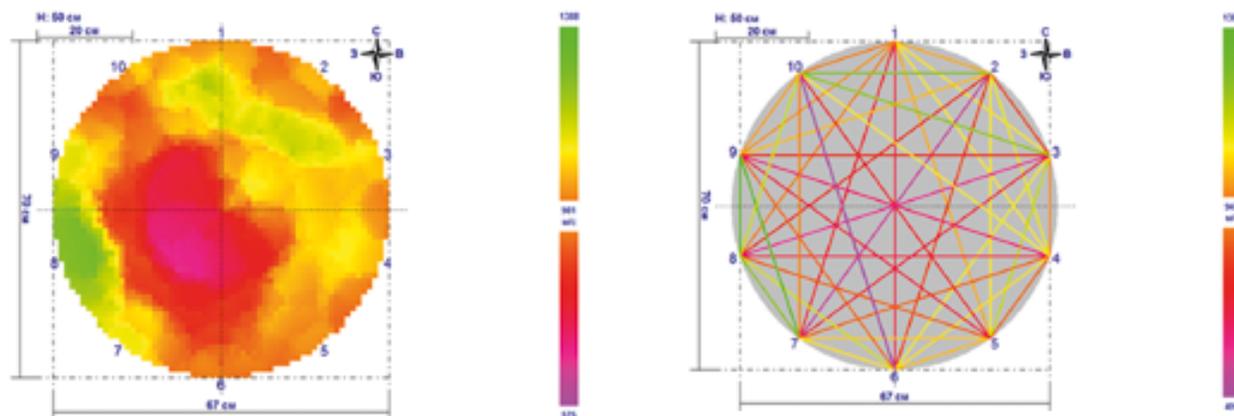
Метод оценки сопротивления сверлению нельзя отнести к абсолютно неинвазивным, так как происходит практически сквозное проникновение сверла в толщу ствола. Однако риск развития негативных последствий при таком вмешательстве значительно ниже, чем при взя-

тии керна. Данный метод активно применяется исследователями при необходимости проведения экспресс-оценки состояния городских деревьев [2, 44, 45, 69, 75, 96].

Вторым выбранным методом исследования является метод импульсной (акустической) томографии. В настоящее время наибольшее распространение в данном направлении измерений приобрели приборы Picus (Argus Electronic), Arbotom (Rinntech) и ArborSonic (Fakopp) [115]. В данном исследовании применялся прибор Arbotom®.

Принцип действия импульсной (звуковой) томографии основан на измерении скорости прохождения звукового импульса через древесину и формирования на основе полученных данных цветного графического изображения (томограммы). В твердой среде скорость звука зависит от типа волны и эластичности и плотности материала, влажности, температуры и анатомического направления, в котором звук передан [122, 123, 126].

С внешней стороны ствола по окружности в исследуемой плоскости размещаются многофункциональные сенсоры. В них имеется виброметр и электронная схема определения реального времени прохождения поступающих импульсов: таким образом, каждый из сенсоров является как излучателем, так и приемником сигнала. Они со-



**Рис. 4.** Пример плоскостного графика Arbotom® - томограммы (слева) и линейного графика (справа)

единяются кабелями в последовательную цепь и подключаются к персональному компьютеру с предварительно установленным специализированным программным обеспечением. После получения и обработки данных с сенсоров программа рассчитывает и оценивает измеряемые параметры и представляет их в виде матриц, линейных и плоскостных цветных построений. Зоны с различными показателями скорости прохождения импульса визуально определяются на основании градуировочной шкалы цветов, формируемой в диапазоне полученных в ходе измерения значений. Arbotom® также как и Resistograph® не использует стандартизированных градуировочных шкал. При анализе полученных изображений следует учитывать средний показатель плотности, плотность основной части сечений ствола, геометрию распределения плотностей (размер и степень локализованности ядра понижения плотности).

В рамках данного исследования измерения проводились на высоте 30–60 см и 110–150 см. Пример процедуры проведения измерений приведен на рисунке 3. Пример полученных графиков приведен на рисунке 4.

Точность определения положения структурных элементов в древесине при использовании акустической томографии уступает оборудованию на основе методов сверления. При этом возможно получить более полную картину расположения элементов относительно друг друга в плоскости. На данный момент применение акустической томографии является наиболее перспективным из инструментальных методов контроля древесины для ценных растений.

В рамках настоящего исследования измерения проводились на каждой пробной площади на 10 модельных деревьях, характеризующихся наиболее типичными для данной площади морфологическими параметрами (внешнее состояние ствола и кроны, диаметр и высота ствола, наличие внешних пороков древесины, общее санитарное состояние).

Разработанные комплексные технологии освоения лесосырьевых ресурсов включают несколько этапов проведения работ:

1. Подготовительные работы, включающие обследование акватории и береговой зоны беспилотными летательными аппаратами, космическим мониторингом лесных насаждений; выбор варианта технологического процесса освоения древесины; подбор оптимальной системы машин для выполнения комплекса работ.
2. Разработка научных предложений по способу повышения защитных свойств водоохранных лесов.
3. Варианты воспроизводства защитных лесов. Оптимальные способы лесопользования.

**Новизна и основные преимущества**

Произведен анализ состояния лесного фонда водоохранных лесов, определены способы повышения защитных свойств водоохранных лесов, разработана методика определения оценки лесоводственно — таксационных показателей спелых и перестойных насаждений водоохранных лесов, изучены физико-механические свойства

защитных насаждений, сформированы выводы и предложения по реализации системного ведения лесного хозяйства в лесах, расположенных в водоохранных зонах Иркутской области.

### Сфера применения разработки

Областью использования результатов разработки является экологическое, лесохозяйственное, и гидроэнергетическое производство. Сферой применения разработки является организация рационализации использования лесных насаждений; решение большого количества экологических проблем путем сохранения ценных естественных лесных ресурсов, восстановление защитных функций лесов Иркутской области.

### Экономический и социальный эффект

Экономическая эффективность водоохранных (природоохранных) мероприятий заключается в экономии и предотвращении потери природных ресурсов, живого и овеществленного труда в производственной и непроизводственной сферах человеческой деятельности. Экономический результат водоохранных мероприятий ( $P$ ) выражается в величине годового предотвращаемого ущерба ( $Уп$ ) за счет водоохранных мероприятий и дополнительного дохода ( $ДД$ )  $P = Уп + ДД$ , где  $Уп = Ув - Уф$ . Согласно данной методике предотвращенный экономический ущерб от загрязнения среды представляет собой разность между расчетными величинами ущерба до и после проведения водоохранных мероприятий, т.е. разница между величинами возможного полного и фактического ущерба в стоимостной форме.

Под оценкой экономической эффективности водоохранных мероприятий подразумевается определение потенциального или реального экономического ущерба в результате хозяйственной деятельности. Ущерб экономический является ущербом экологическим, выраженным, в свою очередь, в денежных единицах. Таким образом, экономический ущерб, наносимый окружающей среде, можно разделить на три вида: это фактический, возможный и предотвращенный ущерб. Предлагаемый алгоритм позволяет проводить оценку экономической эффективности водоохранных мероприятий и предотвращенного ущерба от их осуществления во время хозяйственной деятельности предприятий. Вопрос оценки предотвращенного ущерба является в настоящее время весьма актуальным для предприятий, декларирующих себя в качестве компаний с высокой экологической ответственностью.

### Список литературы

1. Рунова Е. М., Гарус И. А., Мухачева А. Н. Применение инструментальных методов при оценке состояния стволов *pinus sylvestris* L. Лесотехнический журнал, 2020, № 3, с. 72–85.
2. Improving impregnation techniques for fine coniferous and non-coniferous wood/ О. Kunickaya, E. Runova, S. Chzhan, A. Zhuk, O. Markov, I. Garus, B. Nikiforova, V. Ivanov // Istrazivanja i projektovanja za privredu Journal of Applied Engineering Science: Paper number: (2020), 1–9.
3. Reducing energy consumption of barkwood residue grinding on equipment with knife-based operational units О. Kunickaya, A. Zhuk, B. Nikiforova, S. Chzhan, M. Gorodnichina, E. Runova, I. Garus, V. Ivanov // Istrazivanja i projektovanja za privredu Journal of Applied Engineering Science: Paper number: 18 (2020)3, 364–371.
4. Рунова Е. М., Гарус И. А., Мухачева А. Н. Состояние *Pinus sylvestris* L. в условиях высокой антропогенной нагрузки // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. П. Филиппова. 2020. № 4 (61). С. ..
5. Elena Runova, Vasilij Verkhoturov, Lyudmila Anoshkina, Ivan Garus Assessment of the condition of Balsam poplar trees (*Populus balsamifera* L.) in a residential area of Bratsk Ocena stanja balzamastih topolov (*Populus balsamifera* L.) v stanovanjskih delih Brat ka // Acta silvae et Ligni. – Vol. 126 (2021) P. 53–60
6. Grigoreva, O., Runova, E., Tikhonov, E., Storodubtseva, T., Druzyanova, V., Hertz, E., Garus, I., Grigorev, I. Dynamics of the Taxation Characteristics of Forest Stands in the North-West of Russia (2022) Polish Journal of Environmental Studies, 31 (5), pp. 4107–4115.
7. Рунова Е. М., Гарус И. А., Орлова Ю. В. Биометрические показатели и санитарное состояние зеленых насаждений в условиях промышленного загрязнения г. Братска. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2022. № 61. С. 121–124.
8. Гарус И. А., Рунова Е. М. Оценка лесоводственно – таксационных показателей спелых и перестойных насаждений водоохранных лесов Братского района. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2022. № 61. С. 12–15.
9. Рунова Е. М., Гарус И. А., Орлова Ю. В. Оценка состояния качества окружающей среды промышленной зоны Братска. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021. № 60. С. 154–158.
10. Рунова Е. М., Гарус И. А. Лесоводственно – таксационная характеристика водоохранных лесов Иркутской области. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021. № 60. С. 72–74.
11. Рунова Е. М., Гарус И. А. Оценка свойств стволовой древесины сосны обыкновенной с использованием неразрушающих методов контроля. В сборнике: Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Отв. редакторы А. А. Титунин, Т. Н. Вахнина. Кострома, 2021. С. 59–61





ОФОРМИТЬ  
ПОДПИСКУ  
НА ЖУРНАЛ

