

УГЛЕРОД В ЛЕСАХ РОССИИ – ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА

Сергей Барталёв: «Наш консорциум занимается мониторингом углерода лесных и других наземных экосистем, но фактически в рамках проекта мы разрабатываем методическую и технологическую основу создания новой системы учета и мониторинга лесов».

DOI: 10.7868/5004439482506012X

Поступила в редакцию: 09.10.2025

Принята к публикации: 09.10.2025

В 2024 г. в Национальный кадастр парниковых газов¹ – отчетный документ, который Россия ежегодно представляет в секретариат Рамочной конвенции об изменении климата ООН, – впервые вошли данные, полученные методами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса – результаты важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ».

Проект был начат в 2022 г. В его рамках работают шесть консорциумов, организованных по следующим направлениям:

- «Земная система: моделирование и прогноз»;
- «Океан: мониторинг и адаптация»;
- «Суша: мониторинг и адаптация»;
- «Экономика климата»;
- «Антропогенные выбросы: кадастр»;
- «Углерод в экосистемах: мониторинг», или «РИТМ углерода».

В задачи консорциума «РИТМ углерода» входит оценка способности экосистем России поглощать парниковые газы.

Для этого разрабатываются методы обработки спутниковых данных ДЗЗ и создается сеть тестовых полигонов для организации по единой методике постоянного мониторинга параметров бюджета углерода в лесах для ежегод-



ного получения актуальных данных по всей территории страны.

Консорциум «РИТМ углерода» – самый крупный в проекте. В него входят 20 научных центров и институтов РАН, три университета и одно производственное объединение². Координатором проекта выступает Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов имени А.С. Исаева РАН (ЦЭПЛ), руководитель – доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор ЦЭПЛ Н.В. Лукина.

Результаты уже первого этапа работы показали, что способность лесных экосистем России поглощать углерод была недооценена примерно на 40%.

О том, как была получена такая цифра, как строится национальная система мониторинга углерода на территории России и почему это важно, журналу «ЗиВ» рассказал доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией спутникового мониторинга наземных экосистем Института космических исследова-

¹ Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990–2022 гг. <https://unfccc.int/documents/642791>, <https://unfccc.int/documents/642793>

Консорциум «РИТМ Углерода»:

- Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН (Апатиты);
- Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (Апатиты);
- Карельский научный центр РАН (Петрозаводск);
- Югорский государственный университет (Ханты-Мансийск);
- Институт леса Карельского научного центра РАН (Петрозаводск);
- Пущинский научный центр биологических исследований РАН (Пущино, Московская обл.);
- Санкт-Петербургский государственный Лесотехнический университет (Санкт-Петербург);
- Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (Томск);
- Институт геологии и природопользования ДВО РАН (Благовещенск);
- Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва);
- Рослесинфорг (Москва);
- Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск);
- Институт космических исследований РАН (Москва);
- Институт географии РАН (Москва);
- Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Волгоград);
- Почвенный институт им. В.В. Докучаева (Москва);
- Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск);
- Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (Сыктывкар);
- Якутский научный центр СО РАН (Якутск);
- Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (Москва);
- Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск);
- Институт лесоведения РАН (с. Успенское, Московская обл.);
- Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Владивосток).

ний РАН, руководитель группы «Оценка пулов углерода с использованием методов дистанционного зондирования Земли» консорциума «РИТМ углерода» Сергей Александрович Барталёв.

– **Сергей Александрович, что можно считать основным результатом первого этапа работы консорциума?**

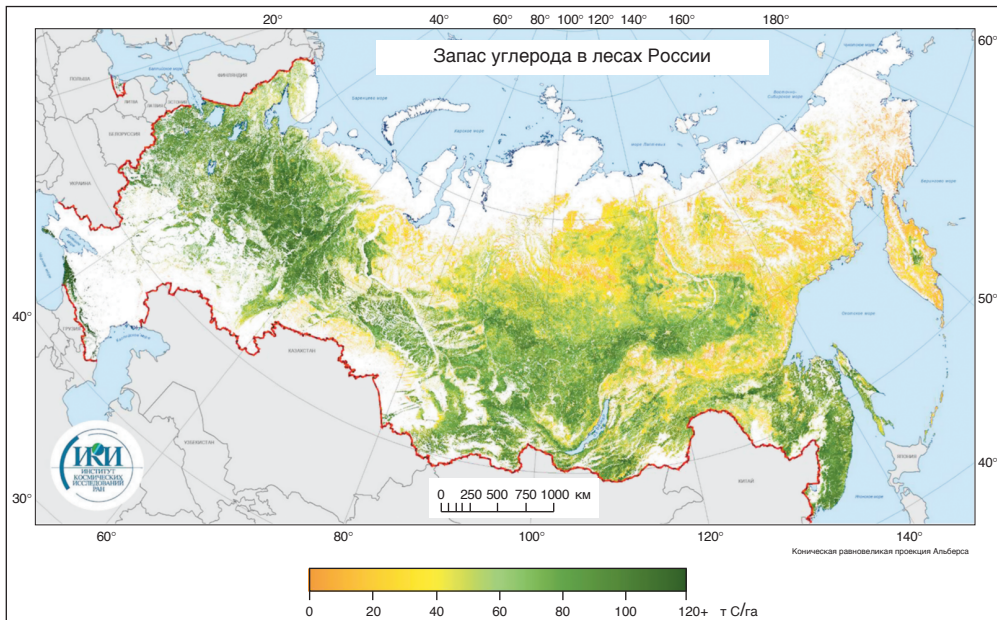
– Основной результат состоит в том, что на основе спутниковых данных и с использованием выборочных наземных наблюдений на сети тестовых полигонов мы впервые оценили на всей территории России характеристики лесов (как преобладающего типа наземных экосистем) и их способность поглощать углерод в ежегодной динамике с начала столетия – т.е. за период более 20 лет². Динамика запасов угле-

рода в лесах за этот период оказалась положительной. По нашим результатам, в целом все леса страны в среднем поглощают за год 1.6 млрд т углекислого газа. Для управляемых лесов, данные о которых попадают в национальный кадастр парниковых газов, эта оценка составляет примерно 1.1 млрд т CO₂ в год. На карте распределения общего запаса углерода в лесных экосистемах, которая была нами составлена, видно, что на значительной части территории Сибири и Дальнего Востока динамика запасов углерода в лесах отрицательная, что преимущественно вызвано воздействием пожаров. Положительная динамика запасов углерода характерна преимущественно для лесов Европейской части России, юга Сибири и Дальнего Востока.

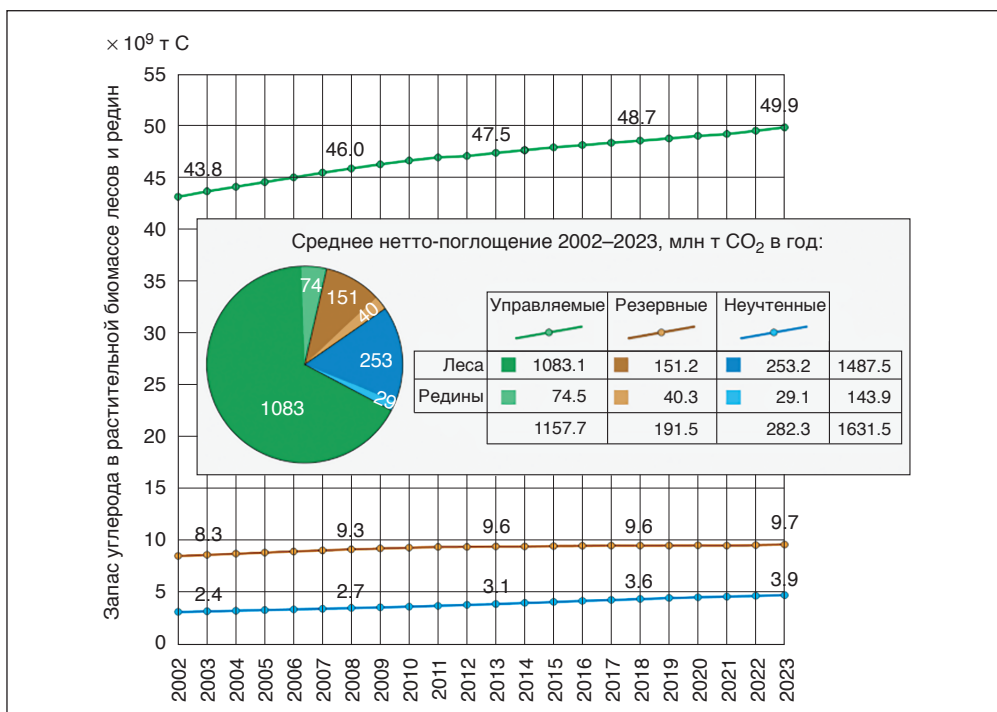
– **Какова причина такой динамики?**

– Площадь лесов в целом растёт, мы это видим. Несмотря на то что

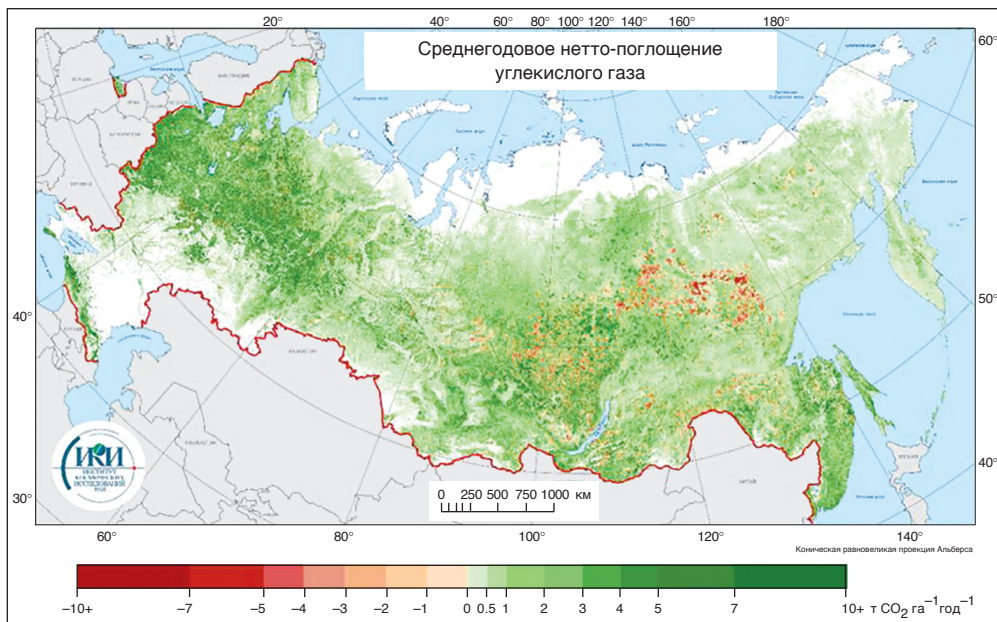
² Барталёв С.А., Лукина Н.В. Новая методология космического мониторинга углерода в лесах России // Земля и Вселенная, 2023. № 5. С. 44–59.



Карта распределения запасов углерода в фитомассе лесов России. Источник: здесь и далее фото из презентации С.А. Барталёва на дебатах Научного совета РАН по лесу 17 сентября 2025 г. «Какой должна быть современная система учета лесов России?»



Оценка нетто-поглощения углерода лесами России



Среднегодовое нетто-поглощение CO₂ всеми лесами России в 2002–2023 гг. составило 1.6 млрд т в год

происходят пожары, увеличивается степень повреждения ими лесной растительности, высока площадь погибших лесов, в то же время идут процессы обратные, которые связаны с ростом площади и повышением продуктивности лесов. В частности, как показывают наши данные, на больших территориях происходит зарастание открытых болот, на которых раньше древесной растительности не было. Это связано с тем, что там меняется климат и гидрологический режим. Уровень грунтовых вод понижается, поверхность болот становится более сухой и на ней начинает расти древесная растительность³.

Кроме того, на многих территориях изменился режим землепользования. В России высока площадь неиспользуемых сельскохозяйственных земель,

и на части этих территорий идет возобновление лесной древесной растительности. Одновременно на северных территориях из-за изменения климата меняется граница леса – продвигается на север. Также на северных территориях распространены редколесья, которые по формальным лесоучетным критериям не попадают в категорию занятых лесом земель.

Все эти категории – и леса на зарастающих болотах и на заброшенных сельскохозяйственных землях, и редколесья северных территорий России – составляют в целом большую площадь. Получается, что в результате изменения климата и изменения режима землепользования площадь лесов, запасы древесины этих лесов, а значит, и скорость поглощения углерода оказываются существенно выше, чем те данные, которые есть у органов лесного хозяйства и официальной статистики.

³ Лукина Н.В. Глобальные вызовы, леса и дистанционное зондирование Земли // Земля и Вселенная, 2020. № 6. С. 18–27.

В рамках проекта «РИТМ углерода» сбор наземных данных организуется с учетом выделения на территории страны 47 экорегионов и 66 биомов с закладкой к 2030 г. 1317 тестовых полигонов. К настоящему времени уже действуют 254 тестовых полигона, где изучаются характеристики растительности, почвы, почвенной фауны и почвенной микробиоты.

Сейчас в составе сети мониторинга также работает 21 эколого-климатическая станция. Станции представляют собой измерительные комплексы для непрерывной автоматической регистрации турбулентных потоков энергии и климатически активных веществ в приземном слое атмосферы на основе метода турбулентных пульсаций.

– Как в рамках работы консорциума происходит оценка площади лесных территорий, характеристик лесов и как оценивается скорость поглощения углерода лесами?

– Один из основных принципов, положенных в основу построения системы мониторинга углерода в лесах, состоит в том, что мы комплекслируем данные спутникового зондирования, которые обеспечивают сплошное непрерывное и регулярно обновляемое покрытие территории России, с выборочными локальными данными наземных наблюдений на сети тестовых полигонов⁴.

Второй принцип заключается в том, что создаваемая нами система мониторинга должна охватывать всю территорию страны вне зависимости от ведомственной принадлежности конкретного участка. И третий принцип – система мониторинга должна обеспечивать возможность ежегодного получения данных о параметрах бюджета углерода лесов.

На текущем этапе мы используем ежедневные данные ДЗЗ с разрешением 250 м с покрытием всей территории страны начиная с 2000 г. Наземные наблюдения – это выборочные данные, собираемые на сети пробных площадей и тестовых полигонов для формиро-



Международная эколого-климатическая станция Мухрино (Ханты-Мансийский автономный округ, Югра), которая входит в консорциум «РИТМ углерода»

Источник: Научно-образовательный центр «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата», кафедра ЮНЕСКО, ЮГУ, международный полевой стационар Мухрино

вания опорной информации, которая необходима для обучения алгоритмов классификации и оценивания, а также верификации получаемых результатов мониторинга.

Для разработки алгоритмов классификации и оценивания необходимых характеристик лесов по данным ДЗЗ мы используем методы машинного обучения. Чтобы оценить возможности леса по поглощению углерода, необходимо знать такие характеристики,

⁴ Барталёв С.А., Стыценок Ф.В. Космические исследования лесов // Земля и Вселенная, 2020. № 6. С. 5–18.

как преобладающие породы деревьев, запас стволовой древесины, относительную полноту древостоя, бонитет, возраст. Мы можем также оценивать характеристики различного рода повреждений, вызванных в том числе пожарами и рубками. Эти характеристики мы получаем ежегодно, и они служат входными данными для использования моделей, которые позволяют оценивать уже те показатели, которые недоступны для дистанционных измерений.

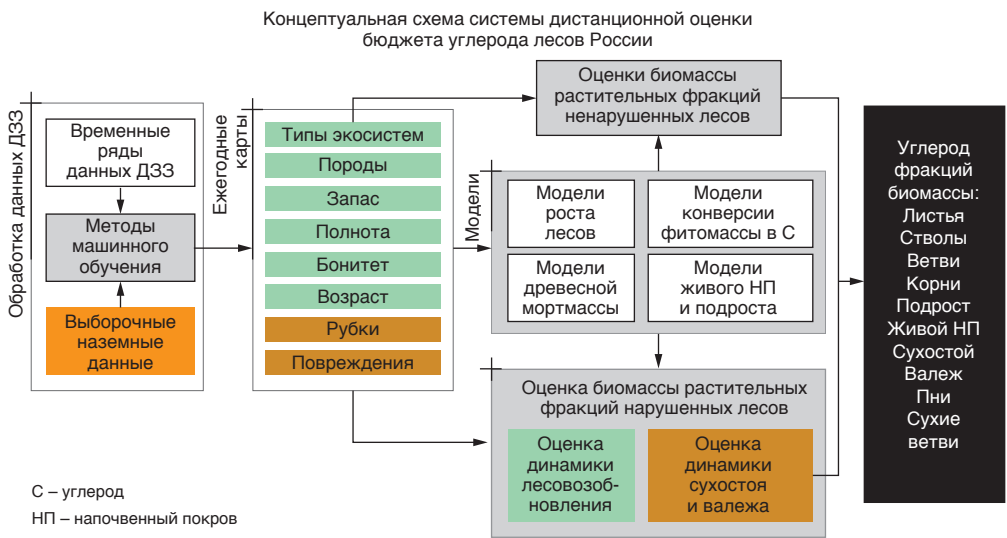
В результате мы получаем данные по содержанию углерода в лесах по фракциям биомассы: в листьях, стволах, ветвях, корнях, подросте, сухостое, в сухих и отмерших частях деревьев. На основе этих данных составляются карты, отражающие параметры ежегодного бюджета углерода в лесах.

– Какие карты в результате были составлены и что они показывают?

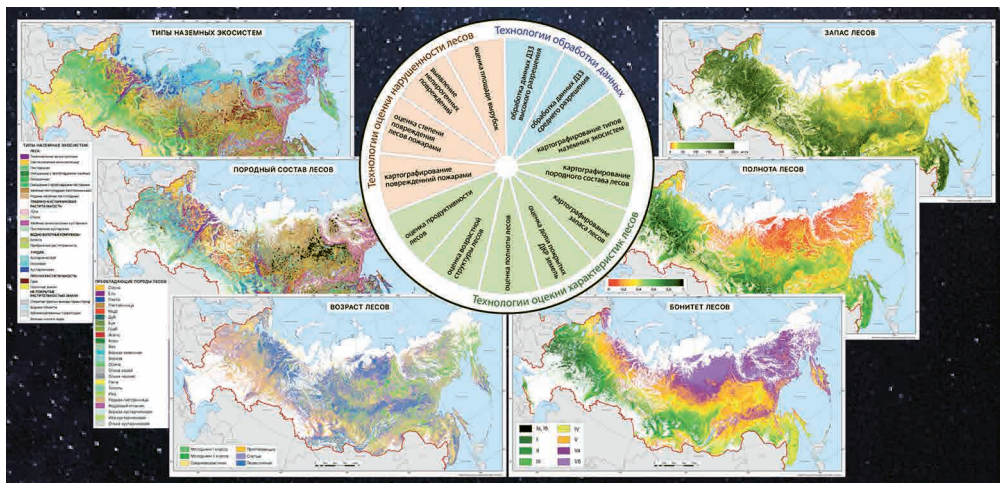
– Нами была построена серия карт, отражающих характеристики лесов, – карта типов наземных экосистем, преобладающих пород, запасов древесины, бонитета (или, иными словами, про-

дуктивности), возраста, относительной полноты лесов и лесистости.

Каждая из этих карт была составлена за период с 2001 по 2024 гг. и показывает динамику изменения этих характеристик в масштабах всей страны. Например, мы видим, как сокращается площадь территорий с хвойными породами и увеличивается площадь территорий с лиственными. Это происходит в основном за счет рубок – хвойные породы являются более коммерчески ценными, хотя хвойные леса в большей степени гибнут от пожаров. После пожаров погибает примерно 80–90% темнохвойных лесов с преобладанием ели и пихты. Лиственные породы более устойчивы – в таких лесах при пожарах гибнет около 15%. К тому же леса лиственных пород быстрее восстанавливаются и более интенсивно растут. Например, семена березы легко разносятся ветром, быстро прорастают и в борьбе за световую конкуренцию выигрывают у хвойных деревьев. А формирование хвойных лесов может происходить под пологом лиственных деревьев уже только через 50–70 лет.



Концептуальная схема системы дистанционной оценки бюджета углерода лесов России



Комплекс автоматизированных технологий спутникового мониторинга, на основе которых были составлены карты разных характеристик лесов России

– Если говорить о пожарах, то насколько данные ДЗЗ близки к данным официального учета? Как зависит количество эмиссии углерода от площади пожаров на лесных территориях?

– По площади пожаров данные ДЗЗ уже используются в официальной статистике, и они близки к официальным данным. Но важно учитывать не только площадь, но и гибель лесов от пожаров. А вот показатели гибели лесов, полученные с помощью ДЗЗ, и показатели официального учета гибели службами Рослесхоза (который ведется с помощью наземных наблюдений), не совпадают.

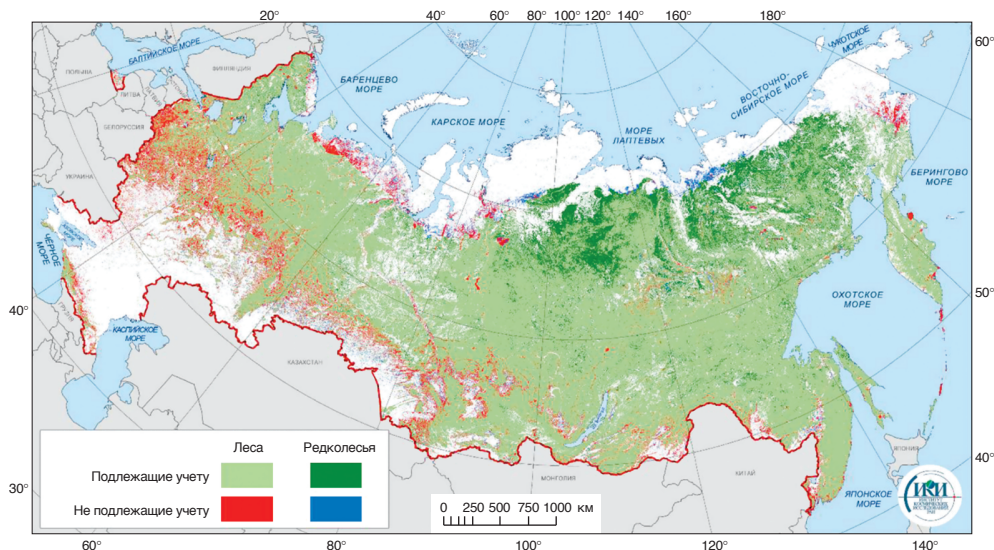
Службы Рослесхоза ведут учет гибели лесов от пожаров на основе наземных наблюдений, поэтому такая оценка происходит фрагментарно. Очевидно, чтобы организовать экспедицию для наземных наблюдений и добраться, например, в отдаленные районы, где происходят самые крупные пожары и лесов гибнет больше всего – в лиственничники в районе Сибири, Якутии и Дальнего Востока, – нужны огромные затраты, и это очень непросто. Получается, что

оперативно и ежегодно эти данные получать невозможно.

Важно также понимать, что нельзя напрямую связывать площадь пожаров и объемы эмиссии углерода. Например, по данным ДЗЗ и данным Рослесхоза максимальная площадь погибших лесов с начала столетия была отмечена в 2021 г. Но тогда преимущественно горели низкопродуктивные и редкостойные леса Якутии и Дальнего Востока, поэтому пожары не привели к катастрофическим эмиссиям углерода.

– По результатам работы консорциума «РИТМ углерода» оказалось, что все управляемые леса на территории России поглощают примерно на 40% больше углерода, чем учитывается официальной статистикой. В чем причина такой большой разницы?

– В лесном хозяйстве допускается разная точность и периодичность обновления данных для разных лесов и для разных территорий. Средняя по стране давность наиболее актуального лесоустройства превышает 25 лет. За такой большой период многое может измениться. Во-первых,



Карта покрытых лесом и редколесьями земель на подлежащей и не подлежащей их учету территориях по состоянию на 2024 г.

за это время лес просто успевает вырасти. Во-вторых, оценка лесов лесостроителями происходит с точки зрения ценности древесины, то есть для лесного хозяйства ведется учет только тех деревьев, которые представляют интерес для промышленной рубки. Это прописано в инструкции. При этом редколесья никак не учитываются. Но, как я уже говорил, из-за потепления климата происходит зарастание болот, увеличиваются полнота и продуктивность древесной растительности, в результате чего редколесья могут переходить в категорию лесов. На северных территориях происходят большие изменения – граница леса сдвигается на север, леса начинают расти быстрее. Казалось бы, все это низкопродуктивные леса, но в то же время они занимают огромные территории и вносят большой вклад в поглощение углерода. Происходит и зарастание древесной растительностью неиспользуемых сельскохозяйственных земель.

– Как вы считаете, почему важны исследования по оценке поглощения углерода? Возможно ли, что эти данные помогут в развитии лесоклиматических проектов?

– Развитие лесоклиматических проектов возможно, но пока идет медленно. Сейчас Российский союз промышленников и предпринимателей активно занимается тем, чтобы привлекать бизнес к таким проектам. И есть компании, которые ведут такие проекты.

Наш консорциум занимается мониторингом углерода лесных экосистем, но фактически мы разрабатываем основу для создания новой системы учета и мониторинга лесов, что не только важно для реализации национальной климатической повестки, но и поможет повысить эффективность лесного хозяйства, лесопользования, организации охраны и защиты лесов.

Беседовала А.Ф. Говорова