

Направления развития лесного хозяйства на основе приоритетных цифровых технологий

Носков В. А.

ИСЭ и ЭПС ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
noskov.va@iespn.komisc.ru

Аннотация

Многофункциональность лесных экосистем, т. е. способность лесов одновременно выполнять множество экосистемных функций и предоставлять множество услуг, все больше подвергается воздействию антропогенной деятельности и изменения климата. Для человечества важно не только обеспечить надежный доступ к энергии, воде, продовольствию, но и к природным ресурсам, важнейшим из которых являются лесные, прежде всего, древесные ресурсы. Национальная или региональная экономика должна не только обеспечить производство и потребление социально устойчивым и экологичным, но и прежде всего гарантировать доступ к этим ресурсам для будущих поколений.

В настоящий момент цифровизация процессов управления национальной экономикой является приоритетной как для развития экономики, так и для общества в целом. Анализ уровня цифровизации лесного хозяйства Республики Коми показал, что он находится на низком уровне, использование базовых цифровых технологий не решает проблем лесного хозяйства, а применение специализированных цифровых технологий (ГИС, цифровые платформы, технологии сбора и обработки больших данных, облачные сервисы, ЦОД) на уровне лесничеств практически отсутствует. Цель исследования – оценить, на каком уровне находится цифровизация лесного хозяйства, какие проблемы возникают у отрасли при переходе на ФГИС ЛК, какого функционала не хватает, и определить направления развития лесного хозяйства на основе приоритетных цифровых технологий, ключевые его индикаторы. Доказано, что ФГИС ЛК имеет значительные недостатки, предложена ее модернизация в части расширения своего функционала, направленного на повышение инвестиционной привлекательности лесного сектора экономики.

Ключевые слова:

цифровизация, цифровая экономика, цифровые технологии, лесное хозяйство, инвентаризация лесов, методы дистанционного зондирования, ФГИС ЛК

Forestry development directions based on the priority digital technologies

Noskov V. A.

Institute for Socio-Economic & Energy Problems of the North FRC
Komi SC UB RAS,
Syktyvkar
noskov.va@iespn.komisc.ru

Abstract

The multifunctionality of forest ecosystems, in other words the ability of forests to perform multiple ecosystem functions and provide multiple services at one time, is increasingly impacted by anthropogenic activities and climate change. Humanity needs to ensure reliable access not only to energy, water, and food, but also to natural resources, the most important of which are forest resources, primarily wood. National or regional economy must not only ensure socially sustainable and environmentally friendly production and consumption but, above all, guarantee access to these resources for future generations.

Currently, digitalisation of national economy management processes is a priority for both development of the economy and the whole society. By the analysis results, the digitalisation level in the Komi Republic's forestry sector is low, basic digital technologies cannot solve forestry issues but specialised digital technologies (GIS, digital platforms, big data collection and processing technologies, cloud services, and data centers) are not actually applied by forestry departments. The purpose of the study is to assess the current state of forestry digitalisation, the challenges the industry faces in transitioning to the Federal State Information System for Forest Management (FGIS LK), and the missing functionality. It also identifies areas for forestry development based on priority digital technologies and key indicators. The FGIS LK has been shown to have significant shortcomings, and a proposal is made to modernise it by expanding its functionality, aimed at increasing the investment attractiveness of the forestry sector.

Keywords:

digitalisation, digital economy, digital technologies, forestry, forest inventory, remote sensing methods, Federal State Information System of the Forest Complex

Введение

Современное развитие мировой экономики, а также изменение климата, необходимость защиты окружающей среды создают значительные проблемы. Леса играют жизненно важную роль в поддержании глобального баланса углерода, однако в последнее время все больше подвергаются угрозе облесения и истощения. Очевидно, что будущее человечества во многом зависит от того, имеет ли оно надежный доступ к энергии, воде, продовольствию или сырьевым ресурсам. При создании определенных условий биоэкономика на национальном или региональном уровне способна сделать производство и потребление не только социально устойчивым, но и экологичным и обеспечить долговременный и гарантированный доступ к этим ресурсам для будущих поколений [1].

Поэтому понимание роста лесов выходит за рамки базового экологического интереса: оно охватывает экономические, экологические и социальные аспекты, поскольку леса не только способствуют биоразнообразию и служат поглотителями углерода, но защищают от стихийных бедствий и поддерживают множественные функции экосистем. Изменения в моделях роста лесов служат индикаторами здоровья лесов и потенциальных экологических сдвигов, влияют на последствия наследия и помогают управлять нарушениями [2]. Очевидно, что точное прогнозирование развития лесных экосистем в свете будущих траекторий динамики лесов, их породно-качественно-размерных характеристик крайне важно, но исследователи отмечают возрастающую сложность моделей из-за большого количества различных взаимодействий экологических процессов и внешних факторов, влияющих на динамику лесов, особенно в контексте изменения климата. Точное представление процессов имеет решающее значение для надежных прогнозов, однако этому часто препятствует все еще ограниченное понимание ключевых экологических взаимодействий и обратных связей [3].

В последние годы к лесному комплексу, в том числе и лесному хозяйству, приковано особое внимание, особенно в свете значительных климатических изменений, которые требуют реагирования из-за их влияния на лесные экосистемы и экономику отрасли. В июне 2025 г. Президент Российской Федерации на одном из совещаний с представителями Минприроды Российской Федерации особо отметил, что на Европейском Севере меняются климатическая повестка, водный режим, усиливаются процессы смены пород, когда на смену сосне приходят дуб и береза, а ель становится более «северной» породой.

Современное лесное хозяйство как часть лесного сектора экономики играет значимую роль в жизни страны, так как от наличия и доступности качественных лесных ресурсов зависит эффективность всего лесопромышленного комплекса. Кроме этого, лесу как природной экосистеме принадлежит ключевая роль в жизни практически каждого человека.

Цифровизация процессов управления лесным сектором экономики является приоритетной для развития экономики и общества в целом. Цифровая экономика

определяется как новая экономическая модель, она представляет не только интернет-революцию, которая преобразует экономическое развитие и общественную жизнь, но и меняет развитие инноваций и технологический прогресс [4]. Для лесного хозяйства это особенно важно в силу консерватизма отрасли и слабой ее цифровизации в последние 10–15 лет. Тем не менее внедрение федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК) в 2025 г. обязывает отрасль полностью «цифровизоваться», что позволит лучше управлять лесными ресурсами, мониторить лесные пожары, бороться с вредителями леса, пресекать незаконный оборот древесины и пр.

Материалы и методы

В работе использованы статистические методы исследования, динамический и сравнительный анализ, табличный прием визуализации данных. Теоретическую базу исследования составляют научные работы ведущих зарубежных экономистов, а также новые отечественные научные разработки, посвященные изучению различных аспектов функционирования лесного хозяйства и лесопользования.

Информационной базой являются данные официальной статистики, в частности, в 2024 г. приказом федеральной службой государственной статистики от 31 июля 2024 г. «Об утверждении форм федерального статистического наблюдения для организаций федерального статистического наблюдения за деятельностью в сфере образования, науки и инноваций» в редакции от 17.11.2025 были утверждены большой перечень годовых форм федерального статистического наблюдения, в том числе: N 3-информ «Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг», а также N 3-информ (МП) «Сведения об использовании цифровых технологий малым предприятием». Эти сведения, с учетом определенных ограничений, связанных с конфиденциальностью данных за 2023 и 2024 гг., были использованы для оценки уровня цифровизации лесной отрасли.

Результаты и их обсуждение

Проблемы развития лесного хозяйства

Очевидно, что для разных стран проблемы лесного хозяйства могут значительно отличаться не только из-за разного уровня развития экономики отдельных стран, но и, прежде всего, вследствие того, что леса относятся к разным биомам. Не случайно в 2025 г. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) в Лесном отчете выделила четыре главных типа леса по географическому положению: тропические, субтропические, умеренные и бореальные (тайга) [5].

Для стран «глобального юга» с их тропическими лесами основная проблема лесного хозяйства заключается в неспособности обеспечить сохранение лесов вследствие быстрого роста населения и распашки лесов для нужд сельского хозяйства [6]. Разный уровень экономи-

ческого развития стран этой группы показывает, что далеко не все они имеют возможности адекватно оценивать экономические последствия таких решений в части сохранения запасов лесов, а также учитывать экологические индикаторы, например, запасы углерода в лесах, что в конечном итоге добавляет неопределенности в оценку конкретного вклада страны в глобальные выбросы углерода. Однако цифровизация лесного хозяйства наиболее развитых и крупных стран, таких как Индия, Бразилия и др. идет ускоренным темпом, когда разные цифровые технологии, например, спутниковые данные с открытым исходным кодом, несколько методов машинного обучения, а также полевые исследования объединяются, формируя «ансамблевый» анализ для решения конкретной задачи или проблемы отрасли [1].

В наиболее развитых «лесных» странах мира преобладают умеренные (практически все страны центральной и восточной Европы) или преимущественно бореальные (Скандинавские страны, Канада) леса. Для этих стран характерен высокий уровень развития лесного хозяйства, когда текущие вопросы эффективности отрасли в целом давно решены и на первое место выходят задачи не только сохранения текущего уровня развития, но и вопросы стратегии выращивания древостоев с заданными параметрами. При этом важное значение уделяется развитию смежных отраслей по цепочке создания добавленной стоимости.

В зарубежной литературе часто приводятся обзоры научных статей, посвященных количеству публикаций по основным проблемам, в том числе и по лесному сектору экономики, при этом подавляющее большинство публикаций по биоэкономике на основе древесины (более 80 %) приходится на европейские научные институты, за которыми следуют институты Китая (11 %). Такие исследования носят междисциплинарный характер с сильным представителем дисциплин лесного хозяйства. Большинство исследований (около 40 %) сосредоточено не только на том, как повысить выход ценной древесины из древостоев, но и как экономически эффективно использовать лесные отходы в качестве основного сырья, что является, в том числе, и важной экологической мотивацией [7]. Экономическая мотивация строится и за счет формирования новых источников дохода и экономии затрат, этому посвящены более 55 % всех научных публикаций. Например, в Словакии использование только древесных отходов в виде отдельных слоев при производстве древесно-пластиковых композитов привело к экономии затрат на 2,2 %, что повышает конкурентоспособность предприятия [8].

Каждая страна определяет свой приоритет управления лесами исходя из ограниченности природных ресурсов. Для достижения целей используются многоцелевой подход и аналитический метод, который является следствием компромисса на политическом, экономическом, экологическом и социальном уровнях [9].

Лесные ресурсы – это национальное богатство России, и они играют важную роль в экономике страны и жизни людей. Особенно это ярко проявляется на Европейском Севере с его высоким природно-ресурсным потенциалом.

Поэтому важно укрепить и модернизировать это приобретенное пространство жизнедеятельности, особенно в части рационального лесопользования [10]. В разных регионах России лесное хозяйство помимо традиционных проблем отрасли имеет и свою региональную специфику, связанную с историей промышленного освоения региона, климатическими особенностями, структурой лесов, значимостью ООПТ и заповедников в структуре лесных экосистем.

Проблема истощения лесных ресурсов

Исследования лесных ресурсов Республики Коми с 2005 г. показали, что истощение спелых и перестойных лесов зоны активного лесопользования весьма значительно. Особенно это проявляется в тех лесничествах, где сконцентрирована основная лесозаготовка, и именно она является главным фактором истощения наиболее ценного сортимента леса – хвойного пиловочника, доля которого в структуре спелых и перестойных лесов за последние 20 лет снизилась с 25 до 17 % [11]. Естественно, проблема истощения лесов затрагивает все лесные регионы России, где активно ведется лесозаготовка, и степень их остроты везде разная, поэтому появляются исследования по оценке состояния лесных ресурсов и характера их истощения для разработки имитационных моделей динамики возрастной структуры, которая является первым шагом к созданию сложных моделей на основе цифровых технологий [12].

Негативным последствием истощения лесов можно назвать рост себестоимости лесозаготовки и первичного лесопиления, поскольку с ухудшением пиловочного сырья доля выхода пиломатериала сильно снижается, что увеличивает удельные издержки на единицу готовой продукции. Относительно невысокая норма прибыли в лесопилении и деревообработке снижает конкурентоспособность отрасли при поставке продукции в дружественные страны из-за значительной удаленности от центров потребления, а значит и более высоких затрат на доставку. Логистические проблемы привели к тому, что с 2020 г. ежегодные объемы заготовки древесины в России снизились с 239 млн куб. м до 197–200 млн куб. м на конец 2024 г. [13].

Опора на естественное лесовосстановление по принципу «сколько срубил – столько посадил» не сохраняет качество лесных ресурсов в долгосрочной перспективе.

Ключевой ошибкой государства как собственника лесных ресурсов стала передача арендаторам обязанности восстанавливать лесные экосистемы после рубок. Учитывая короткий срок аренды (до 49 лет), можно сделать вывод о том, что арендаторы ни финансово, ни организационно не заинтересованы в восстановлении лесов, оказывая лишь минимальную поддержку естественному возобновлению, которая требуется от них по закону.

Недостаточное внимание государство обращает на возможности использования выборочных рубок, объем которых в России с 2005 г. заметно вырос [14] и, по разным оценкам, составляет около 14 % всей заготовленной древесины, при этом в отдельных регионах этот показатель достигает 80–85 %. Безусловно, себестоимость заготовки

при таких рубках традиционно выше, что подтверждает и международный опыт лесопользования, но при этом сохраняется лесная экосистема, которая максимально близкая к естественному произрастанию древостоев, что благоприятно сказывается на последующем лесовосстановлении [15].

В последние годы в России все чаще стали говорить об интенсивном лесном хозяйстве. Однако климатические условия северного региона, в частности в Республике Коми, позволяют, по мнению экспертов, вести интенсивное лесовосстановление только в зоне активного лесопользования в южной части региона. Несмотря на то, что расчетная лесосека в Республике Коми используется только на треть, а объемы заготовки древесины за последние 10 лет выросли с 6–7 до 10 млн куб. м, соответственно, эксплуатационная нагрузка на лесные экосистемы выросла, что требует повышенного внимания к сохранению их лесовосстановительных возможностей [16].

Сложившаяся в России традиционная система лесовосстановления на основе мероприятий содействия естественному возобновлению не способна компенсировать в полном объеме качественные изменения в составе древостоев. Ключевая проблема лесовосстановления – смена пород после рубок, когда хвойные древостои заменяются на лиственные без должного ухода за ними. Фактически Рослесхоз не заинтересован в выращивании особо ценной древесины, но регулирует использование лесов, в том числе защитных лесов, которые имеют особо ценное значение. В этом его принципиальное отличие от лесного хозяйства развитых «лесных» стран, где система «целевого» выращивания древостоев на период оборота рубки является обычной практикой ведения лесного хозяйства [17].

Устаревшие данные государственного лесного реестра

В 2024 г. Счетная палата Российской Федерации в отчете по инвентаризации лесов отметила, что актуальными являются сведения только о 17 % земель лесного фонда страны, данные об остальных лесах безнадежно устарели более 10–15 лет назад. С 2019 г. этот показатель вырос всего на 1,6 %, что подтверждает крайне низкие темпы лесоустроительных работ. В некоторых участковых лесничествах Республики Коми данные о лесах не обновлялись уже более 40 лет. С этой проблемой сталкиваются и европейские страны, где достоверная информация о лесных ресурсах часто недоступна, разрознена или отсутствует, на что обращают внимание эксперты Европейского экологического бюро [18].

Актуальность лесоустройства в лесничествах Республики Коми в последние 10–15 лет практически не меняется, оставаясь на низком уровне. На 2025 г. данные около 16 % всей площади лесов, в которых период последнего лесоустройства не превышает 10 лет, можно условно назвать актуальными. Несмотря на то, что доходы лесного хозяйства Республики Коми в 2024 г. превысили 4,6 млрд руб., из которых в региональный бюджет было переведено около 2 млрд руб., финансирование лесоустроительных работ

остается на крайне низком уровне. Общие потребности в финансировании лесоустройства Республики Коми лесничеств зоны активного лесопользования оцениваются в 5–6 млрд руб. По последней информации, в 2026 г. планируется лесоустройство Сыктывдинского лесничества, что позволит полностью актуализировать данные о лесах и возможности для коммерческой заготовки древесины, так как по действующему законодательству при неактуальных данных лесоустройства (более 20 лет) такие участки нельзя выставлять на аукционы для заключения договоров аренды и купли-продажи, что значительно сужает возможности действующих и потенциальных лесозаготовителей в сырьевом обеспечении своей деятельности, а также оптимизации или расширений деятельности.

Несоответствие структуры и наполнения таксационного описания лесов современным потребностям

Сложившаяся в России система лесоустройства через повысительный (с учетом выделения ярусов) уровень оценки лесных насаждений имеет ряд принципиальных недостатков, снижающих возможности анализа и использования этой информации. Государство, как собственник леса, не внедрило сортиментную структуру учета древесины на корню как для целей лесоустройства (какой лес надо выращивать), так и для повышения доходности лесного хозяйства через оптимизацию продажи права на заготовку древесины по договорам аренды и купли-продажи.

Созданная для учета и отпуска древесины система в виде государственного лесного реестра позволяет измерять отдельные характеристики (диаметр, высоту и пр.), что, по мнению зарубежных исследователей, важно оценивать в течение длительных периодов. Такой инвентаризационный подход может обеспечить большой объем данных, но становится громоздкой задачей, когда необходимо оценить большие и разнообразные лесные площади.

Бурное развитие методов дистанционного зондирования, снижение цен на беспилотные летательные аппараты и постоянный рост вычислительных мощностей создают возможность получить детальную оценку не только основных характеристик лесной популяции, но также структуры и пространственного распределения отдельных деревьев на больших территориях [19]. Понимание пространственной динамики имеет решающее значение для принятия обоснованных решений в области лесопользования, позволяя разрабатывать эффективные решения, применимые на практике. Использование инструментов пространственного моделирования помогает понять причинно-следственные связи в управлении лесами и их влияние на структуру и цели лесного хозяйства [20].

Оценка уровня цифровизации лесного хозяйства Республики Коми

Данные формы 3-информ федерального статистического наблюдения позволяют оценить уровень цифровизации различных отраслей, в том числе и лесного хозяйства. Для анализа применения цифровых технологий в лесопользовании и лесном хозяйстве были запрошены формы 3-информ, в том числе и по малым предприятиям,

по видам деятельности: лесоводство и прочая лесохозяйственная деятельность (ОКВЭД 02.1), лесозаготовки (02.2), предоставление услуг в области лесоводства и лесозаготовок (02.40).

По малым предприятиям за 2023 и 2024 гг. Комистат предоставил материалы только по лесозаготовке. Для малого лесного бизнеса основными цифровыми технологиями являются Интернет: его в 2023 г. использовали восемь организаций из восьми обследованных, в 2024 г. – пять из пяти; финансовые цифровые платформы в 2023 г. применяли пять организаций из пяти, в 2024 г. – четыре из пяти. Эти данные позволяют сделать вывод о начальном уровне цифровизации малых лесных предприятий.

Использование цифровых технологий средними и крупными предприятиями и организациями значительно выше, чем в малом лесном бизнесе.

Провести анализ уровня цифровизации лесозаготовительных предприятий невозможно, так как в 2023 г. они заполнили только форму «Затраты на внедрение и использование цифровых технологий». Данные за 2024 г. Комистат не предоставил из-за конфиденциальности. Тем не менее были предоставлены материалы по числу обследованных организаций и использованию ими цифровых технологий в сферах: лесоводство и прочая лесохозяйственная деятельность («Лесоводство»), предоставление услуг в области лесоводства и лесозаготовок («Услуги лесоводства»).

Число обследованных организаций по этим группам в 2023 и 2024 гг. совпадает и составляет соответственно 27 и 10 организаций, поэтому можно сделать вывод о том, что их заполняли одни и те же респонденты. По лесоводству – это 27 из 32 лесничеств республики, по услугам лесоводства – оставшиеся пять лесничеств, а также ТОСП ГАУ «Коми лесопожарный центр» (Усть-Цилемское авиаотделение), ГАУ РК «Коми региональный лесопожарный центр», ТОСП центрального филиала ФГБУ (Рослесинфорг) по Республике Коми, Филиал ФБУ «Российский центр защиты леса» «Центр защиты леса Республики Коми», Обособленное подразделение «НЭК Сыктывкар» АО «Независимая экспертная компания».

Доля организаций по видам деятельности «Лесоводство» и условно «Услуги лесоводства», использующих базовые цифровые технологии, которые массово применяются подавляющим большинством предприятий и

организаций вне зависимости от отраслевой специфики, представлена на рисунке 1.

Базовые цифровые технологии лесничества Республики Коми («Лесоводство») используют максимально только в части Интернета и электронного обмена данными. Фактически с 2024 г. лесничества полностью перешли на электронный документооборот и предоставление своих услуг исключительно в электронном виде.

Рис. 2 фиксирует долю организаций, применяющих специализированные цифровые технологии, использующие сложное и дорогостоящее специальное программное обеспечение, в том числе и собственной разработки. Такие технологии, как правило, требуют от пользователя высокого уровня квалификации.

По деятельности «Лесоводство» и «Услуги лесоводства» использованием специализированных цифровых технологий – геоинформационных систем, технологий сбора и обработки данных, облачных сервисов и центров обработки данных (ЦОД) – отличаются организации, представляющие филиалы федеральных организаций в области лесных отношений. Анализ деятельности этих организаций по публикациям и отчетам, личные встречи позволяют это подтвердить.

Использование геоинформационных систем, технологий сбора обработки данных, облачных сервисов и ЦОД организациями, оказывающими услуги лесоводства, зна-

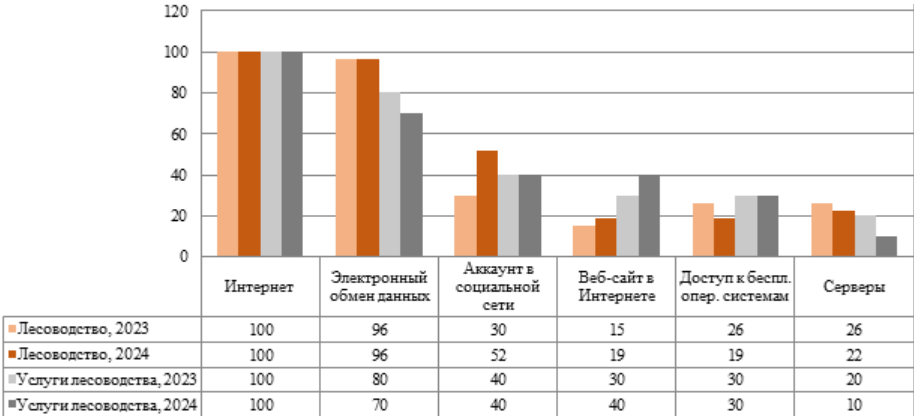


Рисунок 1. Доля организаций, использующих базовые цифровые технологии, %.
Figure 1. Share of organisations that use core digital technologies, %.

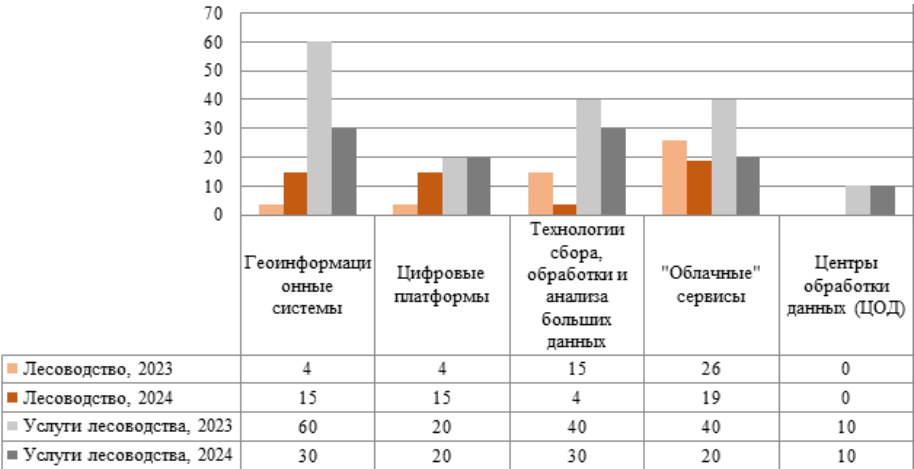


Рисунок 2. Доля организаций, использующих специализированные цифровые технологии, %.
Figure 2. The share of organisations that use specialised digital technologies, %.

чительно выше, чем лесничеств, представляющих лесоводство. Это закономерно, поскольку цифровизация лесного хозяйства идет «сверху вниз», от федерального центра и подконтрольных ему организаций к региональным отделениям Минприроды РФ и далее – к лесничествам.

Самые передовые и, возможно, востребованные технологии в ближайшем будущем – технологии с применением искусственного интеллекта, которые начинают активно применяться в лесном хозяйстве. По отчетности 3-информ за 2023 и 2024 гг. ее использование указало только одно лесничество.

В настоящее время в лесном хозяйстве региона не используются технологии искусственного интеллекта, цифрового двойника леса или аддитивные технологии, однако в 2025 г. Минприроды республики приобрело 33 беспилотника: 25 из них передали Коми лесопожарному центру Республики Коми, восемь – лесничествам. До конца года еще один беспилотник поставят в Пруптское лесничество. Беспилотники будут интегрированы с программами, использующими искусственный интеллект для мониторинга лесов, особенно для автоматического распознавания гарей и вырубок. Эта разработка уже перешла из стадии тестирования в информационный режим, а в 2026 г. ожидается ее полноценное внедрение в геоинформационную систему «Лесные пожары».

Использование центров обработки данных – одно из важных направлений цифровизации лесного хозяйства, однако его развитие предполагает достижение определенного уровня цифрового развития отрасли, чтобы услуги ЦОДов были более востребованы.

Аддитивные технологии в лесном хозяйстве мало применимы, это технологии промышленности, а вот использование цифровых двойников – перспективная технология в части моделирования роста лесных экосистем на десятилетия вперед. Цифровой двойник леса позволяет обеспечить бесшовное соединение объектов физического мира с цифровыми моделями для обеспечения мониторинга, прогнозирования и оптимизации в режиме реального времени. Ключевое преимущество цифровых двойников леса – двустороннее взаимодействие, виртуально-реальная синхронизация и обратная связь при принятии решений – будет способствовать повышению эффективности, снижению затрат, оптимизации распределения ресурсов и содействию устойчивому развитию лесного хозяйства [21].

Направления развития лесного хозяйства на основе приоритетных цифровых технологий

Цифровым решением проблемы истощения лесных ресурсов в обозримом будущем должна стать Федеральная государственная информационная система лесного комплекса (ФГИС ЛК),

которая начала работу в 2025 г. на всей территории страны. Внедрение этой информационной системы идет с трудом, в ней есть «узкие» места и технические недоработки, а также сложности с регулированием отдельных элементов, но практика ее внедрения, например в Республике Коми, по оценке руководителей отдельных лесничеств региона, показывает, что лесное хозяйство с помощью ФГИС ЛК переходит в цифровой формат, отслеживается «цифровой» путь от заключения договоров аренды до продажи круглых лесоматериалов потребителям.

Основные элементы ФГИС ЛК с разной полнотой предоставляют информацию о лесах, среди нее публичная карта, реализованная через использование ГИС-технологий в виде кварталов и выделов (рис. 3).

Предложенная публичная карта содержит минимальные данные о выделах и кварталах, которые на нынешнем функционале работы этого ГИС-сервиса не позволяют понять структуру и качество лесов, их экономический потенциал для лесозаготовки.

Цифровым решением модернизации публичной лесной карты может стать разработка на ее основе инвестиционной карты. Ключевой особенностью такой инвестиционной карты является фокус на предоставление данных об установленном объеме пользования любого лесного участка по сортаментам круглого леса с максимальной дифференциацией по породно-качественно-размерным характеристикам (таблица).

«Умный» поиск, встроенный в инвестиционную карту, предполагает не просто предоставление данных по нужным сортаментам леса под потребности действующих или перспективных лесоперерабатывающих производств, а оптимальную схему возможной лесозаготовки для максимизации дохода и снижения удельных расходов, а также формирование потенциальных ареалов для лесозаготовки с заданными параметрами и выявление основы для эффективной лесопереработки. Определение ареалов и объемов наиболее ценной древесины (хвойного пиловочника, фанкряжа) поможет управлять спросом на нее через ставки лесных платежей, влияя, в том числе, на создание центров переработки древесины.

Знание потенциальной сортиментной структуры и определение на этой основе потенциальной сред-



Рисунок 3. Разная полнота предоставления данных о лесах в ФГИС ЛК.

Источник. Авторская разработка на основе данных с эл. ресурса: <https://pub.fgislk-test.gov.ru/>.

Figure 3. Varying levels of forest data provision in the Federal State Information System for the Forest Complex.

Source. The author's development based on data from the electronic resource: <https://pub.fgislk-test.gov.ru/>.

невзвешенной цены древесины на корню (цена/куб. м) позволяют лесопользователям в европейских странах спрогнозировать лесохозяйственные затраты и способы заготовки древесины. Например, опыт Швейцарии в области проектирования заготовки древесины показал, что экономически доступная площадь расчетной лесосеки при применении наиболее подходящих методов заготовки увеличилась с 52 до 64 % [22].

Таким образом, решение проблемы истощения лесных ресурсов, с «цифровой» точки зрения, предполагает верификацию лесного фонда по сортиментной структуре, поэтому переход от публичной лесной карты к инвестиционной с фиксацией изменений позволяет отслеживать динамику ключевых показателей. Точность такой выборки, безусловно, зависит от регулярности актуализации данных о лесах при лесоустройстве и своевременности внесения данных о рубках древесины.

Оценка эффективности лесного хозяйства по показателю наличия наиболее ценной древесины в структуре растущих древостоев создает экономические стимулы для эффективного лесовосстановления, так как у лесного хозяйства появляется фокус на «выращивание» древостоев с заданными параметрами. Это, в свою очередь, ведет к росту доходов лесного хозяйства и, соответственно, бюджетной системы страны/региона.

Цифровые решения проблем лесовосстановления достаточно сложны и в России только начинают формироваться. Очевидно, что проблема тесно связана с истощением лесов и должна решаться комплексно. Анализ зарубежного опыта показывает значительную сложность разработки оптимальной модели лесовосстановления. Например, в Испании придают важное значение распределению ограниченных ресурсов в лесном хозяйстве для достижения поставленных целей, при этом ключевое значение отводится продуктивности лесов, что выпадает из фокуса внимания в российской практике. Испанский опыт ориентирует на применение многокритериального анализа с учетом данных дистанционного зондирования Земли на основе ГИС, где каждый отдельный слой информации (риск лесных пожаров, доступность дорог, эксплуатационная нагрузка на лес, видимость ландшафта и др.) позволяет рассчитать интегральный показатель, с учетом которого принимаются решения в области лесного хозяйства как в государственном, так и в частном секторе [9].

Говоря об эффективном лесовосстановлении, необходимо понимать, что для любого моделирования или прогнозирования эффективности рубок и последующего лесовосстановления необходимо систематически фиксировать все изменения параметров древостоев в цифровом формате для корректировки лесохозяйственных мероприятий с фокусом на выращивание леса необходимого качества и максимизацию добавленной сто-

имости лесной продукции. Если раньше такая работа была практически невозможна из-за значительной трудоемкости, то цифровизация государственного лесного реестра создает технические возможности создания «цифровой истории» насаждения.

Цифровая история насаждения на повысительном уровне с помощью анализа больших данных и машинного обучения с использованием искусственного интеллекта может позволить объединить данные повысительные участки леса в виде пространственных кластеров как самостоятельных единиц для моделирования лучших параметров лесовосстановления. В настоящий момент в практике лесного хозяйства России пространственные эффекты и моделирование лесовосстановления со стороны подведомственных Рослесхозу организаций на федеральном и региональном уровнях не применяются, оставаясь уделом научных изысканий.

Цифровые решения повышения точности инвентаризации лесов предполагают обязательное использование дистанционных методов. В настоящее время сплошное покрытие лесов могут обеспечить только данные со спутников (космоснимки), на которых возможна установка различных датчиков: гиперспектральных (HS) и мультиспектральных (MS) датчиков для мониторинга лесов, датчиков RGB (красный, зеленый и синий диапазоны видимого спектра), радара с синтезированной апертурой SAR (радиолокатор для двух- и трехмерной съемки), тепловизионных датчиков Т (инфракрасный диапазон), датчиков RGB+T (датчик температуры) [23]. Безусловно, использование космоснимков для повысительной инвентаризации лесов невозможно из-за низкой разрешающей способности и невысокой точности на уровне 40–60 %. Более точ-

От публичной лесной карты – к инвестиционной карте*

From a public forest map to an investment map*

Параметры	Полнота данных	
	Публичная карта	Инвестиционная карта
Идентификаторы квартала, выдела	Полная	Полная
Уровни карты	Полная квартал, выдел	Полная квартал, выдел
Бонитет	Полная	Полная
Площадь, га	Ограниченная, без возрастных групп	Полная, по возрастным группам
Средний запас, га	Ограниченная, без возрастных групп	Полная, по возрастным группам
Преобладающая порода	Ограниченная	Состав леса
Год проведения лесоустройства	Полная	Полная
Визуализация/транспорт. доступность	Крайне низкая/нет	Высокая
Табличные данные	Нет	Есть
«Умный» поиск	Нет	Обязательный элемент
Арендные участки	Нет	Есть
Расчетная лесосека, запас, установленный размер пользования	Нет	Полная, по каждому объекту
Сортиментная структура, спелых и перестойных насаждений, запас по сортиментам, кбм	Нет	Обязательный элемент

Примечание. * Авторская разработка.

Note. * The author's development.

ные данные обеспечивает дистанционное зондирование с помощью воздушного лазерного сканирования (ALS). Такая аэрофотосъемка, в том числе с помощью беспилотников самолетного типа, значительно увеличивает точность до 60–70 %, но более трудоемка и для сплошного покрытия, например Республики Коми, требует несколько месяцев. Использование дронов (квадрокоптеров) позволяет значительно приблизить их к лесу, обеспечивая детализированную съемку с точностью до 70–80 %, однако производительность за единицу времени в десятки раз ниже, чем у предыдущего типа.

Необходимую точность при инвентаризации лесов могут дать только лидары (LIDAR) разного типа: в виде наземного лазерного сканера (TLS), мобильного лазерного сканера (MLS), ручного лазерного сканера (HLS), ранцевого лазерного сканера (BLS). По сути, это устройства для создания трехмерного изображения окружающей обстановки, в данном случае лесов и точного определения (до 100 % точности) главных характеристик леса – диаметра на высоте груди, высоты дерева, породного состава, полноты древостоя и др. Технология обеспечения такой точности на уровне цифрового двойника леса крайне дорога в пересчете на 1 га, требует значительного времени даже при оценке участкового лесничества. Альтернативой лидарам может быть фотограмметрия на основе компьютерного зрения, которая использует фотографии с разных углов для создания трехмерного цифрового изображения. Эта технология менее затратная, но имеет свои ограничения.

Сочетание данных наземного лазерного сканирования (TLS) и (ALS) может помочь включить явные связи между структурой полога, характеристиками кроны деревьев и свойствами древесины и, таким образом, улучшить точность создаваемой модели леса в разных масштабах [24]. Дистанционное зондирование включает воздушное лазерное сканирование (ALS) и, как правило, обеспечивает более высокий пространственный охват, но сравнительно низкое пространственное разрешение. Проксимальное (непрерывное) зондирование с наземным лазерным сканированием (TLS) обеспечивает более низкий пространственный охват, но более высокое пространственное разрешение [25]. Очевидно, что объединение и дополнение разных технологий позволяют обеспечить необходимую точность и нужный охват исследуемого объекта.

Резюмируя, можно сказать, что комбинированные методы инвентаризации, когда сведения со спутников и беспилотников верифицируются данными с наземных или воздушных лидаров на основе машинного обучения с использованием искусственного интеллекта, позволяют значительно сократить время их проведения и обработки данных, при этом достигается приемлемая точность, достаточная для лесопользования и лесопользования. К дополнительным достоинствам комбинированных моделей эксперты относят возможность получения комплексных оценок свойств древесины на уровне ландшафта. В России апробации технологии уже проводятся, в Европе они становятся стандартом при инвентаризации лесов.

Автоматизированная (интерактивная) инвентаризация лесов

Помимо совершенствования цифровых технологий, используемых при инвентаризации лесов, совершенствоваться могут и сами лесоучетные работы. В настоящий момент в России действует двухуровневая система лесоучетных работ:

- первый уровень: государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) – проводится в отношении всех лесов Российской Федерации на площади 1,2 млрд га. Минимальной единицей учета, по которой формируются результаты ГИЛ, является субъект Российской Федерации. Очевидно, что результаты такой ГИЛ не находят практического применения.

- второй уровень: лесоустройство с таксацией лесов – проводится бессистемно в недостаточном объеме (в среднем около 10 млн га в год при потребности не менее 30 млн га в год). Основным фактическим способом таксации – актуализация материалов предыдущего лесоустройства.

По мнению большинства лесных экспертов, такая система неэффективна и требует модернизации, что не оспаривается даже Федеральным агентством лесного хозяйства (Рослесхозом), которое, с подачи Счетной палаты РФ, не случайно в 2024 г. вышло с инициативой создания рабочей группы по разработке концепции новой системы лесоучетных работ в Российской Федерации. Предполагается, что в рамках ФГИС ЛК будет создана единая система лесоучетных работ, объединяющая отдельные мероприятия лесоустройства и государственной инвентаризации лесов с использованием данных дистанционного зондирования Земли и технологий искусственного интеллекта. В настоящий момент концепция находится в стадии разработки.

В свою очередь, лесное бизнес-сообщество, понимая объемы работ и затрат на сплошную повыведельную инвентаризацию лесов в масштабах всей страны, предлагает выделить две зоны, для которых можно предложить разные схемы инвентаризации лесов:

- зона интенсивного освоения лесов (площадь порядка 300 млн га) – создание и периодическое обновление при проведении лесоустройства информации о лесах на повыведельном уровне в объеме не менее 30 млн га в год (софинансирование лесостроительных работ в рамках государственно-частного партнерства);

- зоны перспективного и экстенсивного освоения лесов (площадь порядка 900 млн га) – создание и периодическое обновление информации о лесах при осуществлении ГИЛ на генерализованном поквартальном уровне.

Для зоны интенсивного освоения лесов предлагается идея конвергенции, т. е. сближения и объединения лесоустройства и ГИЛ на основе трехфазовой модели. Первая фаза (выполняется при лесостроительстве) предполагает сплошную таксацию лесов дистанционным способом. Вторая фаза (выполняется при лесостроительстве) предполагает выборочную измерительно-перечислительную таксацию лесов на основе стратификации и двухуровневой дискретизации и является корректировкой результатов первой фазы. По сути, это упомянутая выше комбинированная

модель (и соответствующие ей цифровые решения), которая активно используется за рубежом и показала свою высокую эффективность. Третья фаза выполняется в межревизионный период – адресная измерительная таксация лесотаксационных выделов и (или) их частей, вовлекаемых в хозяйственную деятельность с составлением таксационных описаний лесосек, проектов лесовосстановления и ухода за лесами.

Эффективность трехфазовой модели в том, что бюджетные деньги, выделяемые на лесоучетные работы, используются более рационально, обеспечивая достаточную периодичность таксации лесов в требуемом объеме и качестве. При этом в два раза увеличивается производительность труда при инвентаризации лесов при двукратном снижении удельных затрат на таксацию леса. Такой комбинированный метод позволяет корректировать и/или исключать систематические ошибки, которые часто встречаются при дешифровочном способе таксации. Это, в свою очередь, позволяет корректно определять объемы возможного изъятия древесины (расчетной лесосеки).

Для зоны перспективного и экстенсивного освоения лесов цифровые решения в области инвентаризации лесов будут отличаться, так как это уже поквартальный уровень.

Принципиальные положения технологии [26] предполагают, что объектом работ при инвентаризации лесов принимается лесной район в составе лесничества, а минимальной территориально-хозяйственной единицей учета – квартал (рис. 4). Методически, используя ландшафтный подход, инвентаризация лесов строится на основе трехступенчатой стратифицированной выборки, на первой и второй ступенях которой должна быть сформирована надежная обучающая и контрольно-тестовая выборка. Уже на третьей ступени выборки выполняется автоматизированная (интерактивная) инвентаризация лесов с применением искусственного интеллекта по материалам космической съемки высокого пространственного разрешения на всей территории объекта работ.

Предполагается, что в результате можно получить таксационное описание каждого лесного квартала объекта работ в виде упрощенных (унифицированных) форм Государственного лесного реестра (формы № 1 – ГЛР-авто и формы № 2 – ГЛР-авто); серию цифровых тематических карт поквартального уровня (по классам пожарной опасности, продуктивности лесов, производительности, преобладающим породам, концентрации запасов лесных насаждений, концентрации общего объема древесной биомассы, по поглощающей способности лесов и др.) и полную геоинформационную базу данных на поквартальном уровне, что позволит значительно улучшить лесоуправление. Необходимым условием эффективности автоматизированной (интерактивной) инвентаризации лесов является гарантированное и своевременное обе-

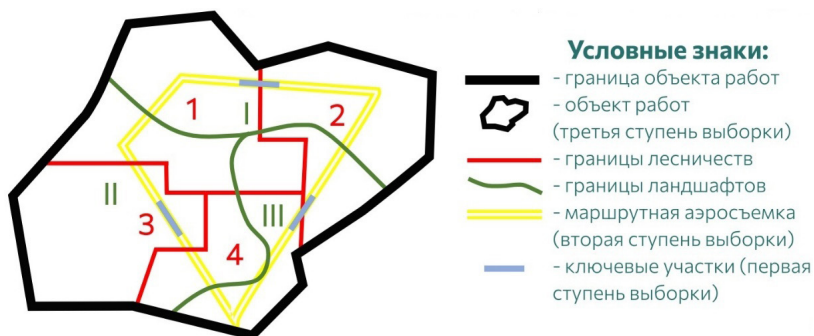


Рисунок 4. Принципиальная схема трехступенчатой выборки для зон перспективного и экстенсивного освоения лесов [27].

Figure 4. Schematic diagram of a three-stage sampling for zones of prospective and extensive development [27].

спечение материалами космической съемки требуемого качества Госкорпорацией «Роскосмос».

Заключение

Цифровизация лесного хозяйства Республики Коми находится на низком уровне. Использование базовых цифровых технологий (Интернет, электронный обмен данными, аккаунт в сети, веб-сайт, доступ к бесплатным операционным системам и др.) не решает проблем лесного хозяйства, а использование специализированных цифровых технологий (ГИС, цифровые платформы, технологии сбора и обработки больших данных, облачные сервисы, ЦОД) на уровне лесничеств практически отсутствует. В структурных подразделениях Рослесхоза (Рослесинфорг, Лесопожарный центр и др.) более заметна роль использования ГИС-технологий, технологий сбора и обработки больших данных, начинают создаваться центры обработки материалов. Однако разработка цифрового двойника леса, использование аддитивных технологий и искусственного интеллекта пока не наблюдаются.

Текущий функционал ФГИС ЛК для лесопользователей обеспечивает техническое (юридическое) сопровождение заготовки и продажи круглых лесоматериалов, но не решает стратегические проблемы понимания истощения лесов, предоставления актуальной информации о структуре и качестве лесов. Предполагается, что разработка инвестиционной карты («лесного инвестиционного портала»), возможно, в виде отдельного программного продукта, позволила бы не только решать важные вопросы сырьевого обеспечения действующих и перспективных лесоперерабатывающих производств, но и выбрать правильный фокус для эффективного лесовосстановления.

Цифровые решения неактуального лесоустройства, и в целом инвентаризации лесов, связаны с использованием комбинированных методов инвентаризации лесов, когда традиционные методы на основе закладывания круговых площадок заменяются (дополняются) данными со спутников, беспилотников, которые, в свою очередь, верифицируются с помощью наземных лидаров на основе машинного обучения с искусственным интеллектом. В Республике Коми использование определенных технологий возможно уже с 2026 г. для мониторинга пожаров, но со временем и для лесоучетных работ.

Традиционно значительные затраты на сплошное лесоустройство в России и Республике Коми ориентируют на оптимизацию лесосучетных работ: выделение зоны интенсивного освоения лесов и зоны перспективного освоения с разными подходами по их инвентаризации, с использованием соответствующих цифровых технологий. Для Республики Коми с ярко выраженной зоной активного лесопользования такой подход мог бы повысить точность данных о лесах.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источники и литература

1. Remote sensing-based biomass estimation of dry deciduous tropical forest using machine learning and ensemble analysis / Chandrakant Singh, Shivesh Kishore Karan, Purnendu Sardar, Sukha Ranjan Samadder // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – Vol. 308. – P. 114639. – ISSN 0301-4797. – <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114639>.
2. Modeling forest growth under current and future climate / I. Boukhris, G. Marano, D. Dalmonech [et al.] // *Curr. For. Rep.* – 2025. – № 11. – P. 17. – <https://doi.org/10.1007/s40725-025-00249-5>.
3. Medlyn, B. E. Forest productivity under climate change: a checklist for evaluating model studies / B. E. Medlyn, R. A. Duursma, M. J. B. Zeppel // *WIREs Clim Change*. – 2011. – № 2 (3). – P. 332–355. – <http://doi.org/10.1002/wcc.108>.
4. The digital economy, industrial structure upgrading, and carbon emission intensity – empirical evidence from China's provinces / Hong Chang, Qingyi Ding, Wanzheng Zhao [et al.] // *Energy Strategy Reviews*. – 2023. – Vol. 50. – P. 101218. – ISSN 2211-467X. – <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101218>.
5. FAO. 2025. Global Forest Resources Assessment 2025. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd6709en>.
6. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, А. Н. Югов // *Лесохоз. информ.: электронный сетевой журнал*. – 2020. – № 1. – С. 92–113. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10.
7. Ali, A. Accelerating the transition to wood-based circular bioeconomy: A literature review of current state, trends, opportunities, and priorities for future research / A. Ali, J. D. Russell // *Curr. For. Rep.* – 2025. – 11, 23. – <https://doi.org/10.1007/s40725-025-00255-7>.
8. Osvaldova, M. Circular economy and technological innovation in the forest-based sector: A study on wood-plastic composites business plan and cost calculations / M. Osvaldova, M. Potkany // *FORESTS*. – 2025. – <https://doi.org/10.3390/f16010052>.
9. Ribas-Costa, Vicent A. Integrating regional forest productivity maps with supplemental data to optimize forest management priority: A case study in Ibiza (Spain) / Vicent A. Ribas-Costa, Andrew Trlica, Aitor Gastón // *Journal of Environmental Management*. – 2025. – Vol. 381. – P. 125221. – ISSN 0301-4797. – <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125221>.
10. Лаженцев, В. Н. Социально-экономические проблемы Европейского Севера России и географический аспект их решения в современных условиях / В. Н. Лаженцев // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 80–88. – DOI: 10.15838/esc.2025.1.97.4.
11. Носков, В. А. Оценка состояния и изменения компонентов природного капитала лесов северного региона и его влияние на устойчивость сырьевого обеспечения лесопереработки / В. А. Носков // *Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки*. – 2023. – № 1. – С. 242–264. – DOI: 10.15593/2224-9354/2023.1.17.
12. Оценка обеспечения непрерывности и неистощительности использования лесов на основе имитационного моделирования их возрастной структуры / А. В. Сулов, З. Я. Нагимов, А. И. Крючкова, А. В. Шестаков [и др.] // *Леса России и хозяйство в них*. – 2023. – № 3 (86). – С. 39–50. – DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.005.
13. Гордеев, Р. В. Перепутье российской лесной промышленности / Р. В. Гордеев, А. И. Пыжев // *Всероссийский экономический журнал ЭКО*. – 2023. – № 5 (587). – С. 169–191. – DOI: 10.30680/EC00131-7652-2023-5-169-191.
14. Ильина, О. В. Выборочные рубки на Северо-Западе России: состояние, возможности и препятствия для использования / О. В. Ильина, А. В. Родионов // *Принципы экологии*. – 2016. – № 1. – С. 4–23. – DOI 10.15393/jl.art.2016.4843.
15. Матвеева, Н. Ф. Лесное хозяйство в странах бассейна реки Конго и меры повышения его эффективности / Н. Ф. Матвеева // *Ученые записки Института Африки РАН*. – 2024. – № 1. – С. 80–92. – DOI 10.31132/2412-5717-2024-66-1-80-92.
16. Keenan, R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review / R. J. Keenan // *Annals of Forest Science*. – 2015. – № 72. – P. 145–167. – DOI 10.1007/s13595-014-0446-5.
17. Естественное лесовосстановление на вырубках в северо-таежном равнинном районе Западной Сибири / К. А. Башегуров, А. Н. Гавриленко, Е. П. Розинкина, А. С. Попов [и др.] // *Изв. вузов. Лесн. журн.* – 2025. – № 1. – С. 58–70. – DOI 10.37482/0536-1036-2025-1-58-70.
18. European Forest Types: toward an automated classification / F. Giannetti, A. Barbat, L. D. Mancini [et al.] // *Annals of Forest Science*. – 2018. – № 75. – DOI 10.1007/s13595-017-0674-6.
19. Modelling lidar-derived estimates of forest attributes over space and time: a review of approaches and future trends / N. C. Coops, P. Tompalski, T. R. H. Goodbody // *Remote Sens Environ.* – 2021. – DOI 10.1016/j.rse.2021.112477.
20. Baskent, E. Z. An updated review of spatial forest planning: Approaches, techniques, challenges, and future directions / E. Z. Baskent, J. G. Borges, J. Kašpar // *Current Forestry Reports*. – 2024. – Vol. 10. – P. 299–321. – DOI 10.1007/s40725-024-00222-8.
21. Qiu, Hanqing. Forest digital twin: A new tool for forest management practices based on spatio-temporal data,

- 3D simulation engine, and intelligent interactive environment / Hanqing Qiu, Huaqing Zhang, Kexin Lei [et al.] // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2023. – Vol. 215. – DOI 10.1016/j.compag.2023.108416.
22. Bont, Leo Gallus. Improving forest management by implementing best suitable timber harvesting methods / Leo Gallus Bont, Marielle Fraefel, Fritz Frutig [et al.] // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – Vol. 302. – Part B. – DOI 10.1016/j.jenvman.2021.114099.
 23. LiDAR data fusion to improve forest attribute estimates: A review / M. Balestra, S. Marselis, T. T. Sankey [et al.] // *Curr. For. Rep.* – 2024. – Vol. 10. – P. 281–297. – DOI 10.1007/s40725-024-00223-7.
 24. Barrette, J. Impact of intensive forest management practices on wood quality from conifers: Literature review and reflection on future challenges / J. Barrette, A. Achim, D. Auty // *Current Forestry Reports*. – 2023. – Vol. 9. – P. 101–130. – DOI 10.1007/s40725-023-00181-6.
 25. Keefe R.F., Zimbelman E.G. & Picchi G. Use of Individual Tree and Product Level Data to Improve Operational Forestry // *Current Forestry Reports*. – 2022. – Vol. 8. – P. 148–165. – DOI 10.1007/s40725-022-00160-3.
 26. Как нам лесостроить Россию: сб. мат., подготовленных учеными и специалистами ООО «Леспроект» для VI Международ. науч.-практич. конф. «Проблемы инвентаризации лесов и лесостроительства», Архангельск, 16–17 ноября 2022 г., и не вошедших в официальную программу конф. – СПб.: «Геликон Плюс», 2023. – 80 с.
 27. Репин, Е. А. Формирование счетов системы природно-экономического учета в Российской Федерации / Е. А. Репин // Сб. мат. XIX национальной науч. конф. с междунар. уч. «Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество». – М., 2020. – С. 378–380.
 5. FAO. 2025. Global Forest Resources Assessment 2025. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd6709en>.
 6. Borealnye lesa Rossii: vozmozhnosti dlya smyagcheniya izmeneniya klimata [Boreal forests of Russia: opportunities for climate change mitigation] / A. N. Filipchuk, N. V. Malysheva, T. A. Zolina, A. N. Yugov // *Lesohoz. inform.: electronic online journal*. – 2020. – № 1. – P. 92–113. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10.
 7. Ali, A. Accelerating the transition to wood-based circular bioeconomy: A literature review of current state, trends, opportunities, and priorities for future research / A. Ali, J. D. Russell // *Curr. For. Rep.* – 2025. – 11, 23. – <https://doi.org/10.1007/s40725-025-00255-7>.
 8. Osvaldova, M. Circular economy and technological innovation in the forest-based sector: A study on wood-plastic composites business plan and cost calculations / M. Osvaldova, M. Potkany // *FORESTS*. – 2025. – <https://doi.org/10.3390/f16010052>.
 9. Ribas-Costa, Vicent A. Integrating regional forest productivity maps with supplemental data to optimize forest management priority: A case study in Ibiza (Spain) / Vicent A. Ribas-Costa, Andrew Trlica, Aitor Gastón // *Journal of Environmental Management*. – 2025. – Vol. 381. – P. 125221. – ISSN 0301-4797. – <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125221>.
 10. Lazhentsev, V. N. Sotsialno-ekonomicheskie problemy Evropeiskogo Severa Rossii i geograficheskii aspekt ikh resheniya v sovremennykh usloviyakh [Socio-economic problems of the European North of Russia and the geographical aspect of their solution in modern conditions] / V. N. Lazhentsev // *Ekonomicheskie i socialnye peremeny: fakty, tendencii, prognoz* [Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast]. – 2025. – Vol. 18. – № 1. – P. 80–88. – DOI: 10.15838/esc.2025.1.97.4.
 11. Noskov, V. A. Otsenka sostoyaniya i izmeneniya komponentov prirodnogo kapitala lesov severnogo regiona i ego vliyanie na ustoichivost syr'evogo obespecheniya lesoprerabotki [Assessment of the state and changes in the components of natural capital of forests in the northern region and its impact on the sustainability of raw material supply for timber processing] / V. A. Noskov // *Bulletin of PNIPU. Social and Economic Sciences*. – 2023. – № 1. – P. 242–264. – DOI: 10.15593/2224-9354/2023.1.17.
 12. Otsenka obespecheniya nepreryvnosti i neistoshchitelnosti ispolzovaniya lesov na osnove imitatsionnogo modelirovaniya ikh vozrastnoi struktury [Assessment of the continuity and sustainability of forest use based on simulation modeling of their age structure] / A. V. Suslov, Z. Ya. Nagimov, A. I. Kryuchkova // *Lesa Rossii i hozyajstvo v nih* [Forests of Russia and their Management]. – 2023. – № 3 (86). – P. 39–50. – DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.005.
 13. Gordeev, R. V. Pereputye rossiiskoi lesnoi promyshlennosti [Crossroads of the Russian forest industry] / R. V. Gordeev, A. I. Pyzhev // *All-Russian Economic Journal ECO*. – 2023. – № 5 (587). – P. 169–191. – DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2023-5-169-191.
 14. Ilyina, O. V. Vyborochnye rubki na Severo-Zapade Rossii: sostoyanie, vozmozhnosti i prepyatatstviya dlya

References

- ispolzovaniya [Selective logging in the North-West of Russia: status, opportunities and obstacles to apply] / O. V. Ilyina, A. V. Rodionov // *Printsypy ekologii [Principles of Ecology]*. – 2016. – № 1. – P. 4–23. – DOI 10.15393/jl.art.2016.4843.
15. Matveeva, N. F. Lesnoe khozyaistvo v stranakh basseina reki Kongo i mery povysheniya ego effektivnosti [Forestry in the Congo River basin countries and measures to improve its efficiency] // *Scientific Notes of the Institute of Africa RAS*. – 2024. – № 1. – P. 80–92. – DOI 10.31132/2412-5717-2024-66-1-80-92.
 16. Keenan, R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review / R. J. Keenan // *Annals of Forest Science*. – 2015. – № 72. – P. 145–167. – DOI 10.1007/s13595-014-0446-5.
 17. Estestvennoe lesovosstanovlenie na vyrubkakh v severo-taезhnom ravninnom raione Zapadnoi Sibiri [Natural reforestation in clearings in the north-taiga plain region of Western Siberia] / K. A. Bashegurov, A. N. Gavrilenko, E. P. Rozinkina [et al.] // *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* – 2025. – № 1. – P. 58–70. – DOI 10.37482/0536-1036-2025-1-58-70.
 18. European Forest Types: toward an automated classification / F. Giannetti, A. Barbati, L. D. Mancini [et al.] // *Annals of Forest Science*. – 2018. – № 75. – DOI 10.1007/s13595-017-0674-6.
 19. Modelling lidar-derived estimates of forest attributes over space and time: a review of approaches and future trends / N. C. Coops, P. Tompalski, T. R. H. Goodbody // *Remote Sens Environ.* – 2021. – DOI 10.1016/j.rse.2021.112477.
 20. Baskent, E. Z. An updated review of spatial forest planning: Approaches, techniques, challenges, and future directions / E. Z. Baskent, J. G. Borges, J. Kašpar // *Current Forestry Reports*. – 2024. – Vol. 10. – P. 299–321. – DOI 10.1007/s40725-024-00222-8.
 21. Qiu, Hanqing. Forest digital twin: A new tool for forest management practices based on spatio-temporal data, 3D simulation engine, and intelligent interactive environment / Hanqing Qiu, Huaiqing Zhang, Kexin Lei [et al.] // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2023. – Vol. 215. – DOI 10.1016/j.compag.2023.108416.
 22. Bont, Leo Gallus. Improving forest management by implementing best suitable timber harvesting methods / Leo Gallus Bont, Marielle Fraefel, Fritz Frutig [et al.] // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – Vol. 302. – Part B. – DOI 10.1016/j.jenvman.2021.114099.
 23. LiDAR data fusion to improve forest attribute estimates: A review / M. Balestra, S. Marselis, T. T. Sankey [et al.] // *Curr. For. Rep.* – 2024. – Vol. 10. – P. 281–297. – DOI 10.1007/s40725-024-00223-7.
 24. Barrette, J. Impact of intensive forest management practices on wood quality from conifers: Literature review and reflection on future challenges / J. Barrette, A. Achim, D. Auty // *Current Forestry Reports*. – 2023. – Vol. 9. – P. 101–130. – DOI 10.1007/s40725-023-00181-6.
 25. Keefe, R. F. Use of individual tree and product level data to improve operational forestry / R. F. Keefe, E. G. Zimbelman, G. Picchi // *Current Forestry Reports*. – 2022. – Vol. 8. – P. 148–165. – DOI 10.1007/s40725-022-00160-3.
 26. Kak nam lesoustroït' Rossiyu [How we can manage forests in Russia] / Collection of materials prepared by scientists and specialists of OOO "Lesproekt" for the VI International Scientific and Practical Conference "Problemy inventarizatsii lesov i lesoustroïstva [Problems of Forest Inventory and Forest Management]", Arkhangelsk, November 16–17, 2022, and not included in the official conference program. – Saint-Petersburg: Gelikon Plus, 2023. – 80 p.
 27. Repin, E. A. Formirovanie schetov sistemy prirodno-ekonomicheskogo ucheta v Rossiiskoi Federatsii [Formation of accounts for the natural resources accounting system in the Russian Federation] / E. A. Repin // *Proceedings of the XIX National Scientific Conference with International Participation "Bolshaya Evraziya: razvitie, bezopasnost, sotrudnichestvo [Greater Eurasia: Development, Security, Cooperation]"*. – Moscow, 2020. – P. 378–380.

Благодарность (госзадание)

Статья подготовлена в рамках выполнения НИОКР «Цифровая биоэкономика северного региона: подходы и направления формирования», номер государственного учета: 12401412700509-1 от 27.01.2024.

Acknowledgements (state task)

The article was prepared in frames of the state task "Cifrovaya bioekonomika severnogo regiona: podhody i napravleniya formirovaniya [Digital bioeconomy of the northern region: formation approaches and directions]", state registration number: 12401412700509-1 dated 27.01.2024.

Информация об авторе:

Носков Владимир Александрович – научный сотрудник лаборатории экономики природопользования Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; WOS Research ID: E-9679-2018; Scopus Author ID: 57207206804, <https://orcid.org/0000-0002-9025-907X>, SPIN-код: 2753-4688 (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 26; e-mail: noskov.va@iespn.komisc.ru).

About the author:

Vladimir A. Noskov – Researcher, Institute for Socio-Economic & Energy Problems of the North, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; WOS Research ID: E-9679-2018; Scopus Author ID: 57207206804, <https://orcid.org/0000-0002-9025-907X>, SPIN-code: 2753-4688 (26 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: noskov.va@iespn.komisc.ru).

Для цитирования:

Носков, В. А. Направления развития лесного хозяйства на основе приоритетных цифровых технологий / В. А. Носков // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Экономические науки». – 2026. – № 5 (90). – С. 86–98.

For citation:

Noskov, V. A. Napravleniya razvitiya lesnogo hozyajstva na osnove prioritetnyh cifrovyyh tekhnologiy [Forestry development directions based on the priority digital technologies] / V. A. Noskov // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Economic Sciences". – 2026. – № 5 (90). – P. 86–98.

Дата поступления рукописи: 04.05.2026

Прошла рецензирование: 07.05.2026

Принято решение о публикации: 09.06.2026

Received: 04.05.2026

Reviewed: 07.05.2026

Accepted: 09.06.2026