ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

www.journal.spb-niilh.ru
ISSN 2079-6080

DOI 10.21178/2079-6080.2024.2.51
УДК630*587.5:630.9

Таксация лесов дешифровочным способом как потенциальный инструмент цифровой трансформации лесного хозяйства

© Д.М. Черниховский[1,2], А.А. Парфенов[3]

Forest inventory by interpretation method as a potential tool for digital transformation of forestry

D.M. Chernikhovskii, A.A. Parfenov (Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; LLC «Lesproekt»; Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation)

Digital transformation of forestry, as a process aimed at the radical modernization of all available information systems in forestry, is defined in the Strategy for the Development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030. This process involves the conversion of geoinformation databases of forest management of individual forest districts into common databases throughout the country. In the article, as a potential tool for digital transformation of forestry, responsible for the formation of initial forest management information, the technology of forest inventory by interpretation method is considered. The main approaches to interpretation remote sensing materials are visual and automated. The results of visual interpretation directly depend on the qualifications and experience of the specialist, performing interpretation of remote sensing materials, the nature of interpreted objects and the quality of the remote sensing materials used. Visual interpretation is a complex process involving psychological and psychophysiological factors. The automated approach to interpretation makes it possible to achieve a high degree of automation in determining a number of indicators, regardless of the subjective qualities of the specialist, his experience and abilities. Successful examples of the implementation of the automated approach are the Scandinavian method of "laser" taxation, as well as the automated classification of satellite imagery materials used in the national forest inventory. The technology of forest inventory by interpretation method was developed, tested and put into production about ten years ago. The methodology of the work has been published and is publicly available. This technology is used by state and private forestry enterprises in different regions of the Russian Federation. The article provides a comparative assessment of a number of forest taxation methods. The characteristic disadvantages of the proposed innovative methods of forest inventory are the lack of techniques adapted for domestic forest management production and the lack of examples of production testing. The competitive advantages of forest inventory by the interpretation method are obtaining results corresponding to regulatory accuracy, acceptable cost of work, manufacturability, flexibility, as well as successful experience in production applications.

Key words: digital transformation, forestry, forest inventory, interpretation method, remote sensing data

Таксация лесов дешифровочным способом как потенциальный инструмент цифровой трансформации лесного хозяйства

Д.М. Черниховский, А.А. Парфенов

Цифровая трансформация лесного хозяйства как процесс, направленный на коренную модернизацию всех имеющихся информационных систем в лесном хозяйстве, определена в Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. Этот процесс предполагает конвертацию геоинформационных баз данных лесоустройства отдельных лесничеств в общие базы данных по всей стране. В статье в качестве потенциального инструмента цифровой трансформации, отвечающего за формирование исходной лесоустроительной информации, рассматривается технология таксации лесов дешифровочным способом. Основными подходами к дешифрированию материалов дистанционного зондирования Земли являются визуальный и автоматизированный. Результаты визуального дешифрирования напрямую зависят от квалификации и опыта специалиста-дешифровщика, природы дешифрируемых объектов и качества используемых материалов дистанционного зондирования. Визуальное дешифрирование представляет собой сложный процесс, сопряженный с психологическими и психофизиологическими факторами. Автоматизированный подход к дешифрированию позволяет достигать высокой степени автоматизации определения ряда показателей, независимо от субъективных качеств исполнителя-дешифровщика, его опыта и способностей. Примером успешной реализации автоматизированного подхода служат скандинавский метод «лазерной» таксации, а также автоматизированная классификация материалов космических съемок, применяемая при проведении национальной инвентаризации лесов. Технология таксации лесов дешифровочным способом была разработана, апробирована и внедрена в производство около десяти лет назад. Методика работ опубликована и представлена в открытом доступе. Данная технология применяется государственными и частными лесоустроительными предприятиями в разных регионах Российской Федерации. В статье приведена сравнительная оценка ряда способов таксации лесов. Характерными недостатками предлагаемых инновационных способов таксации лесов являются отсутствие методик, адаптированных для отечественного лесоустроительного производства, и примеров производственных апробаций. Конкурентными преимуществами таксации лесов дешифровочным способом являются получение результатов, соответствующих нормативной точности, приемлемая стоимость работ, технологичность, гибкость, а также успешный опыт производственного применения.

Ключевые слова: цифровая трансформация, лесное хозяйство, таксация лесов, дешифровочный способ, данные дистанционного зондирования

Черниховский Дмитрий Михайлович – профессор кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем, директор Центра по развитию дистанционных методов в лесном хозяйстве ООО «Леспроект», доктор с.-х. наук
E-mail: cherndm2006@yandex.ru; orcid.org/0000-0002-6375-3080; SPIN-код: 2189-1988

Парфенов Александр Александрович – студент 4 курса
E-mail: aleksandrparfenov391@gmail.com; orcid.org/0009-0009-9028-4185

[1]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова»
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, литера У
Телефон: +7 (812) 217-92-46

[2]Центр по развитию дистанционных методов в лесном хозяйстве ООО «Леспроект»
196084, Санкт-Петербург, ул. Заставская, дом 33, литера Ж, офис 315
Телефон: +7 (921) 750-99-18

[3]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67
Телефон: +7 (812) 710-65-10

Введение

Основные цели и перспективы цифровой трансформации лесного хозяйства отражены в Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. [23]. Кратко цифровая трансформация определяется как переход от обмена бумажными документами к обмену данными в электронном виде, введение реестровых моделей, отказ от дублирующей и излишней информации.

В качестве ключевого программного средства цифровой трансформации предполагается использовать разрабатываемую в последние годы федеральную государственную информационную систему лесного комплекса (ФГИС ЛК), которая должна обеспечить прослеживаемость всей цепочки движения древесины, от заготовки на лесосеке до производства продукции или вывоза за рубеж, включая все промежуточные этапы: лесные склады, производства и контроль сопроводительных документов в электронном виде (https://xn – c1akgd3ap.xn – p1ai/). ФГИС ЛК будет объединять данные по отрасли и использоваться в качестве базового источника информации при осуществлении государственных услуг в области лесного хозяйства.

Проблемные вопросы цифровой трансформации лесного хозяйства активно обсуждаются учеными и экспертами. По охвату и многообразию обсуждаемых этапов, барьеров и перспектив трансформации можно судить о сложности данного процесса [8, 11, 15, 24, 25]. К проблемам развития цифровизации лесного комплекса относятся ограниченное использование инновационно-технологического потенциала, недостаточные масштабы модернизации производств, низкая инвестиционная привлекательность лесного комплекса, невысокий уровень кадрового потенциала [11, 24]. Иными особенностями цифровой трансформации лесного хозяйства являются общее технологическое отставание отрасли, необходимость одновременного проведения мероприятий по технологическому и организационному совершенствованию с повышением уровня технической оснащенности лесничеств и органов управления лесами. Значимой проблемой на пути цифровой трансформации является многообразие информационных технологий и программных продуктов, применяемых в регионах [25].

Предполагается проведение на региональном уровне анализа всех бизнес-процессов в лесном хозяйстве с их оптимизацией (внесением необходимых изменений, удалением лишних элементов и дублирующих функций, выбором лучших решений) и переводом в цифровую форму. Цифровые платформы должны объединить все процессы регионального лесного хозяйства в единую среду с ориентацией на государственные услуги и взаимодействие власти с бизнесом и гражданами [8].

Лесоустройство, согласно ст. 67 Лесного кодекса, представляет собой систему взаимосвязанных мероприятий, которые проводятся в целях получения актуальных и достоверных сведений о лесах и лесных ресурсах, об их местоположении, состоянии, количественных и качественных характеристиках [20]. Правила проведения лесоустройства, мероприятия по его проведению, способы таксации лесов, требования к точности таксации, состав работ приведены в Лесоустроительной инструкции [12].

Таксация лесов выполняется в целях установления границ таксационных выделов, определения категорий покрытых и не покрытых лесной растительностью лесных и нелесных земель, их характеристик и таксационных показателей лесных насаждений. На основе результатов таксации (количественных, качественных и пространственных характеристик лесов) формируются геоинформационные базы данных, которые, в свою очередь, служат для формирования лесных карт и таксационных описаний. Результаты таксации (базы данных, карты, таксационные описания) применяются в органах управления лесами (комитетах, министерствах, департаментах лесного хозяйства, лесничествах) и компаниях, занимающихся использованием лесов. Цифровая трансформация лесного хозяйства предполагает конвертацию геоинформационных баз данных лесоустройства отдельных лесничеств в общие базы данных по всей стране.

В данной статье в качестве потенциального инструмента цифровой трансформации лесного хозяйства предлагается технология таксации лесов дешифровочным способом. Последовательно рассматриваются следующие задачи:

– краткий обзор применения дистанционных методов в лесном хозяйстве;

– разработка методики и технологии дешифровочной таксации лесов;

– сравнительная оценка способов и технологий таксации лесов;

– оценка перспектив применения таксации лесов дешифровочным способом в целях цифровой трансформации лесного хозяйства.

Материалы и методы исследования

Наиболее объективное сравнение способов и методик таксации лесов предполагает организацию и многократное проведение работ на одной и той же модельной территории. Такой подход является достаточно дорогостоящим и трудозатратным, а также требует привлечения значительного числа квалифицированных специалистов (лесоустроителей, геодезистов, специалистов в области геоинформационных технологий и дистанционных методов). В данной статье для сопоставления разных методов оценки таксационных характеристик использовались сведения, полученные на основе обзора публикаций и консультаций с экспертами.

Результаты исследования

Наблюдая за мировыми тенденциями развития лесоучетных работ, можно отметить значительное многообразие предлагаемых средств и методов [5, 6, 14, 27–31, 33, 36]. В последние десятилетия актуальным и востребованным направлением является совершенствование методических и технологических аспектов лесоучетных работ на основе применения геоинформационных технологий и дистанционных методов. Показательными примерами инноваций в области лесоучетных работ служат разработки скандинавских учёных, удостоенные высшей награды в области лесного хозяйства – премии Маркуса Валленберга (называемой также «Нобелевской премией по лесному хозяйству»). Это многоисточниковая национальная инвентаризация лесов (автор – финский профессор Эркки Томппо, 1997 г.) и технология лазерной таксации лесов (автор – норвежский профессор Эрик Нессет, 2011 г.) [34]. Указанные инновационные методики активно применяются при лесоучетных работах в разных странах мира.

Основные методические подходы к таксации лесов дешифровочным способом в системе отечественного лесоустройства были сформулированы в 1960-х гг. Тогда были разработаны первые производственные методики и технологии работ. Становление методов лесного дешифрирования тесно связано с этапами общего развития дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в отечественном лесном хозяйстве, что детально отражено в учебной и научной литературе [7, 10, 22]. За несколько десятилетий был проведен значительный объем работ по таксации лесов дешифровочным способом, усовершенствованы и расширены методики и технологии. К 1980-м годам были достигнуты значительные успехи в области применения дистанционных методов в лесном хозяйстве.

Перспективность и важность использования стереопросмотра при дешифрировании аэрофотоснимков отмечали ученые и практики. Профессор Д.М. Киреев писал: «Высотная съемка открывает совершенно новые возможности, которые не обеспечивает ни один из наземных методов исследования и которыми не обладали лесоводы прошлого. Лесовод-дешифровщик имеет практически необъятную широту обзора, может одновременно наблюдать трехмерную модель значительной по площади лесной территории, непосредственно видеть закономерности ее пространственной дифференциации...» [10].

При этом уже более сорока лет противопоставляются два подхода к дешифрированию материалов ДЗЗ: визуальный (глазомерный) и автоматизированный (машинный).

К известным особенностям визуального (глазомерного) дешифрирования безотносительно дешифрируемых объектов относятся следующие [32]:

– при визуальном дешифрировании исполнитель-дешифровщик идентифицирует объекты на изображениях и передает эту информацию другим (при этом «сырые» данные, имеющиеся на исходных изображениях, превращаются в полезную информацию только после их интерпретации дешифровщиком);

– обучение дешифрированию происходит через опыт просмотра сотен снимков вместе с тесным изучением условий окружающей среды и наблюдаемых процессов;

– успех в дешифрировании материалов ДЗЗ зависит от опыта дешифровщика и его подготовки, природы дешифрируемых объектов или явлений и качества используемых снимков (как правило, наиболее способные дешифровщики обладают острой наблюдательностью в сочетании с воображением и большим терпением).

Важно отметить, что визуальное (глазомерное) дешифрирование представляет собой сложный процесс, сопряженный с психологическими и психофизиологическими факторами. По своему содержанию дешифрирование материалов ДЗЗ представляет своеобразную психическую деятельность, имеющую свои закономерности и требующую значительной активности различных психических процессов. Психофизиологические факторы дешифрирования связаны со своеобразием зрительного восприятия материалов ДЗЗ, с процессами переработки и осмысления информации, представленной на этих материалах, с необходимостью использования специальных приборов, с определенными требованиями, предъявляемыми к личным качествам дешифровщика. Ведущая роль в дешифрировании материалов ДЗЗ принадлежит взаимодействию аналитико-синтетических процессов переработки информации, среди которых преобладают мыслительные операции (анализ, синтез, сравнение, абстракция, индуктивные и дедуктивные методы умозаключения, рассуждения по аналогии) [21].

Примером успешной реализации автоматизированного подхода к дешифрированию являются скандинавский метод «лазерной» таксации, применяемый при таксации лесов [5, 6, 14, 29], а также автоматизированная классификация материалов космических съемок при национальной инвентаризации [31, 33].

Технология таксации лесов дешифровочным способом на основе применения фотограмметрического программного обеспечения была разработана, апробирована и внедрена в производство [1, 3, 26]. Методика работ опубликована и находится в открытом доступе [2]. Общая схема работ, основные производственные этапы и их содержание с указанием используемых программных продуктов отражены на рисунке 1 и в таблице1.

Рис. 1. Общая схема работ по таксации лесов дешифровочным способом

Таблица 1

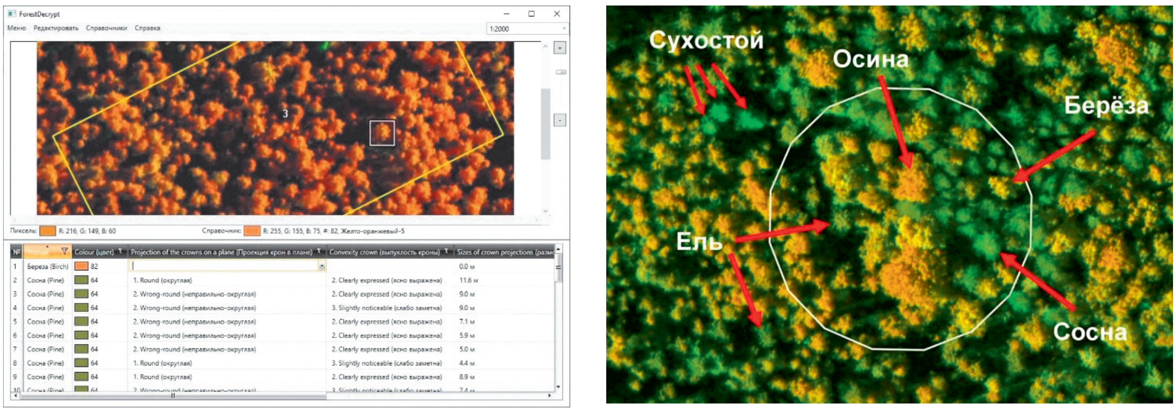
Основные этапы и содержание работ по таксации лесов дешифровочным способом [3, 26]

Этап работ	Содержание работ	Программное обеспечение
1. Сбор исходных материалов для объекта работ	Сбор, оценка, ввод в цифровые форматы нормативно-справочной информации	ПК ForestBook (ООО «Леспроект»), QGIS
2. Планирование и выполнение дистанционных съемок	Сбор исходных данных. Согласование, планирование, выполнение аэрофотосъемочных работ, контрольный просмотр отснятых материалов. Выполнение полевых работ по планово-высотному обоснованию	Программы для планирования и выполнения аэрофотосъемки
3. Обработка и подготовка данных ДЗЗ для дешифрирования и создания ГИС	Автоматическая аэрофототриангуляция. Уравнивание по точкам планово-высотного обоснования. Автоматическое построение ортофотопланов. Экспорт результатов съемки (ортофтоплан, ЦМР, отдельные снимки) в обменные форматы	ЦФС Photomod («Ракурс»), программы для обработки материалов аэрофотосъемки
4. Создание цифровой картографической основы объекта работ	Формирование проекта лесничества с набором слоев цифровой картографической основы (границ, дорог, квартальной сети, гидрографии и др.)	ПК ForestBook, ЦФС Photomod, QGIS
5. Изучение и анализ признаков дешифрирования	Выполнение наземных работ по изучению признаков дешифрирования таксационных показателей. Анализ признаков дешифрирования. Установление взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями	ForestDecrypt («Айва Софт»), ЦФС Photomod
6. Выполнение контурного, аналитического и измерительного дешифрирования материалов аэросъемки (таксация лесов дешифровочным способом)	Дешифрирование материалов аэросъемки в стереорежиме на экранах мониторов. Векторизация границ выделов с заполнением карточек таксации. Экспорт результатов в ГИС. Ввод карточек таксации. Контроль баз данных и исправление ошибок	ЦФС Photomod с применением стереомониторов и стереоочков
7. Выборочные наземные проверки результатов дешифрирования	Выполнение выборочно-перечислительной таксации выделов контрольной выборки (контрольной таксации). Сравнение полученных результатов с данными таксации дешифровочным способом	MS Excel

Этап работ	Содержание работ	Программное обеспечение
8. Формирование геоинформационной базы данных	Совмещение картографических и атрибутивных баз данных. Выполнение контролей, исправление ошибок. Перенесение и увязка площадей	ПК ForestBook, QGIS, WinGIS
9. Создание и выпуск лесных карт, таксационных описаний, отчетов	Создание и оформление лесных карт и таксационных описаний. Получение с помощью выборок и запросов сведений для итоговых отчетов	ПК ForestBook, QGIS, WinGIS

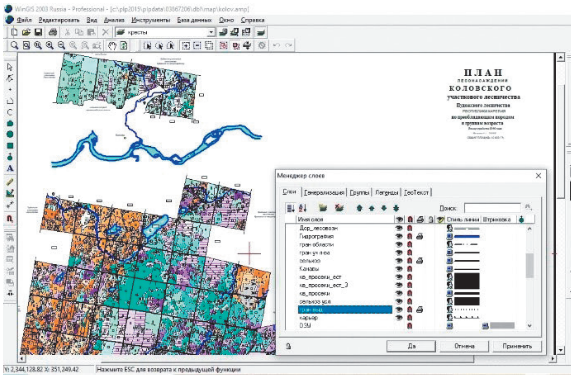
Автоматизированное рабочее место каждого специалиста, выполняющего работы по дешифрированию лесов, оснащается набором программно-аппаратного обеспечения [2]. Базовым программным продуктом для эффективного решения задач таксации лесов дешифровочным способом является цифровая фотограмметрическая система Photomod со специальным модулем StereoMeasure и программой «Лесное дешифрирование» (совместная разработка компании «Ракурс» и ООО «Леспроект»). Требования к аппаратному обеспечению, помимо минимальных ограничений, определяющих работоспособность программ, учитывают строгое соответствие видеокарты, стереомонитора и стереоочков для обеспечения стереопросмотра материалов ДЗЗ. Каждое рабочее место оснащается стереомонитором (либо высокочастотным, с поддержкой режима nVidia 3D Vision Ready, либо зеркальным) со стереоочками.

Примеры отдельных стадий работ по таксации лесов дешифровочным способом, а также итоговые результаты работ показаны на рисунке 2.



А) Б)

Рис. 2. Отдельные стадии работ и итоговые результаты таксации лесов дешифровочным способом: А – анализ признаков дешифрирования древесных пород в программе ForestDecrypt; Б – определение породного состава на основе материалов аэрофотосъемки в программе Photomod;



В)

Г)

Рис. 2. Отдельные стадии работ и итоговые результаты таксации лесов дешифровочным способом: В – подготовка векторной лесной карты (план лесонасаждений лесничества) в ГИС; Г – фотоабрис отдельного квартала с подложкой ортофотоплана

На основе разработанной технологии таксации лесов дешифровочным способом лесоустроительными компаниями, начиная с 2015 г. проведены работы на территории более 2 млн. га (в Ленинградской, Псковской, Архангельской областях, Республике Карелия). Производственное обучение приемам и методам лесного стереоскопического дешифрирования для целей таксации лесов дешифровочным способом прошли десятки специалистов государственных и частных компаний. Разработанная технология таксации лесов прошла успешную проверку временем, продемонстрировала свою жизнеспособность и гибкость при работе в разных природно-географических условиях и регионах с разным уровнем ведения лесного хозяйства. Востребованность данной технологии со стороны заказчиков подтверждает её конкурентоспособность и доверие со стороны лесопользователей и органов управления лесами. Таксация лесов дешифровочным способом в настоящее время активно применяется государственными и частными лесоустроительными предприятиями и при необходимости может трансформироваться для решения иных задач (государственной инвентаризации лесов, оценки санитарного состояния лесов, подбора участков для лесопользования и др.). Например, рассматриваемая технология может применяться для определения количественных и качественных характеристик лесов на фотопробах государственной инвентаризации лесов [4] по подобию других стран [28].

Критики сопоставляют таксацию лесов дешифровочным способом с таксацией лесов наземными способами (глазомерной и глазомерно-измерительной таксацией), а также с отдельными инновационными подходами (автоматическому дешифрированию материалов ДЗЗ, технологиям лазерного и радарного сканирования и др.). В таблице 2 приводится сравнительная оценка возможных способов таксации лесов, выполненная на основе обзора публикаций и экспертных оценок.

Таблица 2

Сравнительная оценка способов таксации лесов

Способ таксации лесов	Требования к материалам ДЗЗ [12]	Программное обеспечение	Достоинства	Недостатки
Глазомерный, глазомерно-измерительный	Каналы RGB и NIR, не хуже 2,5 м/пиксель	ГИС-программы и приложения для обработки лесоустроительной информации	Традиционный способ, используемый десятилетиями, детально изложен в литературе	Ограниченный период проведения работ (вегетационный период). Значительные расходы на проведение экспедиционных работ. Непрозрачная система контроля работ
Аналитико-измерительное дешифрирование материалов ДЗЗ, рациональное сочетания дешифрирования и наземных обследований	Стереоматериалы, каналы RGB и NIR, не хуже 1 м/пиксель	ЦФС Photomod (уравнивание снимков, формирование ортофотопланов), ГИС	Традиционный способ, адаптированный к современным материалам ДЗЗ и технологиям. Проводится круглогодично. Прозрачная система контроля на всех этапах	Необходимы расходы на приобретение программно-аппаратного обеспечения. Требуется проведение подготовки специалистов по дешифрированию
Автоматизированная обработка и анализ материалов ДЗЗ (нет утвержденных методик)	Стереоматериалы, каналы RGB и NIR, не хуже 1 м/пиксель	Программы обработки материалов ДЗЗ, ГИС	Высокая степень автоматизации работ	Нет примеров производственного применения.
«Лазерная» таксация на основе лидарной съемки (нет утвержденных методик)	Нет официальных требований. Предполагается сочетание воздушной лазерной съемки с аэрофотосъемкой или космической съемкой	Программы обработки материалов ДЗЗ, ГИС	Высокая степень автоматизации работ, высокая точность определения геометрических характеристик	Нет примеров производственного применения. Требуется проведение двух видов съемок (лазерной и аэросъемки) и закладка плотной сети наземных пробных площадей
На основе съемок БПЛА (нет утвержденных методик)	Нет официальных требований. Проводятся съемки сверхвысокого разрешения в видимом диапазоне.	Программы обработки материалов ДЗЗ, ГИС	Высокая оперативность съемки небольших по площади и линейных участков	Нет примеров производственного применения.

К преимуществам технологии «лазерной» таксации, широко применяемой в ряде стран, относятся высокая точность определения высотных характеристик, возможность получения цифровых моделей рельефа, снижение субъективности, присущей наземным и дешифровочным способам за счет высокой степени автоматизации. Но при этом необходимо проведение двух видов съемки (лидарной и аэросъемки) и закладка плотной наземной сети пробных площадей, репрезентативно отражающих многообразие типов леса. Ряд показателей, не определяемых напрямую, оценивается по сложным алгоритмам, вызывающим сомнения у специалистов.

Применение автоматизированной классификации стереоматериалов сверхвысокого пространственного разрешения предусматривается Лесоустроительной инструкцией (ст. 211). Но опубликованных методик, результатов экспериментальных исследований и информации о производственном внедрении данного подхода нами не обнаружено.

Съемка лесов с помощью БПЛА решает вопросы подеревного учета, является безальтернативным вариантом в отношении оперативности и лучшего пространственного разрешения для небольших по площади участков. Но в отношении производственной таксации, когда необходимо проводить единовременную съемку сотен тысяч гектаров с соблюдением строгих требований к геометрическим и радиометрическим характеристикам материалов съемки, съемка с БПЛА пока еще уступает традиционной аэрофотосъемке.

Ряд запатентованных способов определения таксационных характеристик [17–19] алгоритмически близок к рассматриваемой технологии, но представляет исключительно научный интерес, не связанный с практической реализацией на производстве.

Стоит отметить, что только указанные в Лесоустроительной инструкции наземные и дешифровочные способы таксации имеют достаточную методическую основу, отраженную в нормативной и учебной литературе (порядок и состав работ, требования к точности результатов, требования к материалам ДЗЗ). Все иные способы таксации, несмотря на активное обсуждение и обилие предложений на рынке услуг, находятся вне пределов правового поля и могут рассматриваться, как экспериментальные. Несмотря на отдельные преимущества данных инновационных методов таксации лесов, ни один из них пока не был успешно доведен до производственного внедрения.

Стоимость работ теоретически должна служить ключевой характеристикой при выборе способа и технологии таксации. В настоящее время рыночный механизм определения стоимости услуг по таксации лесов функционирует недостаточно эффективно – подавляющую часть работ по таксации лесов проводит компания ФГБУ «Рослесинфорг» по заказу Федерального агентства лесного хозяйства. Цены услуг по таксации лесов, предоставляемых частными компаниями, значительно разнятся в зависимости от применяемого способа работ и размеров территории. По мнению экспертов, рыночная стоимость работ по лесоустройству составляет порядка 100–300 руб./га. Более низкие цены на практике недостижимы – они не покроют расходы на приобретение материалов ДЗЗ и проведение наземных обследований. Цены на таксацию лесов на основе материалов лазерной съемки, а также материалов съемок с БПЛА значительно выше – порядка 1000 руб./га [9, 16]. Стоимость работ по таксации лесов дешифровочным способом составляет 100–130 руб./га [13] и соответствует нижнему ценовому пределу рыночной стоимости.

Роль рассматриваемой в статье методики таксации лесов дешифровочным способом в процессе цифровой трансформации лесного хозяйства может заключаться, во-первых, в формировании исходной информации о лесах в виде геоинформационных баз данных и материалов ДЗЗ для объектов лесоустроительных работ, во-вторых, – в решении многочисленных задач использования лесов и управления лесами на основе сформированных геоинформационных баз данных.

В настоящее время разработчиками ФГИС ЛК не предполагается поддержка работ по таксации лесов, формированию геоинформационных баз данных и обработке материалов ДЗЗ – результаты таксации должны конвертироваться в данную систему из других программ. Особенность отечественного лесоустройства состоит в том, что с начала внедрения в производство ГИС-технологий (то есть с конца 1990-х гг.) в лесоустроительных компаниях, расположенных в разных регионах, используются разное программное обеспечение и разные технологии работ. Преимуществом рассматриваемой технологии таксации лесов дешифровочным способом является методически обоснованный производственно-технологический цикл работ с применением набора программных продуктов (преимущественно отечественных производителей). Результатом работ являются геоинформационные базы данных таксации лесов, которые могут конвертироваться в форматы ФГИС ЛК.

Заключение

В результате проведенного исследования рассмотрены методика и основные составляющие таксации лесов дешифровочным способом; оценены результаты практического применения технологии; проведена сравнительная оценка дешифровочной таксации лесов с альтернативными вариантами; указаны перспективы применения и развития данной технологии в целях цифровой трансформации лесного хозяйства.

Конкурентными преимуществами таксации лесов дешифровочным способом на основе фотограмметрического программного обеспечения являются получение результатов, соответствующих нормативной точности, приемлемая стоимость работ, технологичность, гибкость, а также успешный производственный опыт применения государственными и частными лесоустроительными компаниями. Технология таксации лесов дешифровочным способом может рассматриваться в качестве инструмента цифровой трансформации лесного хозяйства, отвечающего за формирование и редактирование исходной лесоустроительной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архипов, В.И. Опыт таксации лесов дешифровочным способом на основе современного программно-аппаратного обеспечения и цифровых аэроснимков нового поколения / В.И. Архипов, Д.М. Черниховский, В.И. Березин // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 5. – С. 29–37.
2. Архипов, В.И. Руководство по таксации лесов дешифровочным способом / В.И. Архипов, В.И. Басков, В.А. Белов, В.И. Березин, Д.М. Черниховский. – СПб. : ООО «ЛЕСПРОЕКТ», 2021. – 99 с. – URL: https://lesproekt.org/?p=index (23.01.2024).
3. Архипов, В.И. Современная технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» / В.И. Архипов, Д.М. Черниховский, В.И. Березин, В.А. Белов // Изв. СПбЛТА. – 2014. – Вып. 208. – С. 22–42.
4. Березин, В.И. Методика выполнения государственной инвентаризации лесов в объектах с наличием труднодоступных территорий / В.И. Березин, Д.М. Черниховский, В.И. Архипов // Изв. СПбЛТА. – 2016. – Вып. 214. – С. 6–26.
5. Данилин, А.И. Некоторые результаты научно-исследовательского проекта по использованию лазерной и цифровой аэро- и космической съемки при таксации леса / А.И. Данилин, И.М. Данилин, М.А. Корец [и др.] // Лесная таксация и лесоустройство. – 2013. – № 1 (49). – С. 26–33.
6. Данилин, И.М. Некоторые результаты международного проекта по исследованию возможностей лазерной, радарной и цифровой аэросъемки лесов / И.М. Данилин, Е.М. Медведев // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2008. – № 1. – С. 15–23.
7. Дмитриев, И.Д. Лесная аэрофотосъемка и авиация / И.Д. Дмитриев, Е.С. Мурахтанов, В.И. Сухих. – М. : Лесн. пром-сть, 1981. – 344 с.
8. Евченко, А.В. Региональное лесное хозяйство в ожидании цифровой трансформации организационно-экономического механизма управления процессами лесоустройства и лесопользования / А.В. Евченко // Актуальные вопросы устойчивого развития современного общества и экономики : Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году культурного наследия народов России, Курск, 14–15 апреля 2022 года / Финансовый университет при Правительстве Россий-

ской Федерации, Курский филиал. – Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2022. – С. 82–88.
9. Измерение леса дронами. Онлайн сервис – URL: https://www.forestscanner.net/ (дата обращения: 23.01.2024)?
10. Киреев, Д.М. Методы изучения лесов по аэроснимкам / Д.М. Киреев. – Новосибирск : Наука, 1977. – 212 с.
11. Ларионов, В.Г. Цифровая трансформация лесного хозяйства / В.Г. Ларионов, Т.Л. Безрукова, Е.Н. Шереметьева, Е.П. Баринова, М.В. Ветчинкина // ЗЕЛЕНАЯ ЭКОНОМИКА: «IFORESt» : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 29 сентября 2021 года. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 64–70. – DOI 10.34220/ZEIF2022_64-70.
12. Лесоустроительная инструкция : утв. приказом Минприроды России от 5 августа 2022 года № 510 // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» – URL: https://docs.cntd.ru/document/351878696 (дата обращения: 23.01.2024)
13. Леспроект : офиц. Сайт. – URL: https://lesproekt.org/ (дата обращения: 23.01.2024)
14. Медведев, Е.М. Лазерная локация земли и леса : учебное пособие / Е.М. Медведев, И.М. Данилин, С.Р. Мельников. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Геолидар, Геокосмос; Красноярск : Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.
15. Морковина, С.С. Организация комплексного использования лесных ресурсов на цифровой основе / С.С. Морковина, А.Н. Топчеев // Известия Юго-Западного государственного университета. – Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 125–136.
16. Открытый лес : офиц. сайт – URL: https://openles.ru/#les (дата обращения: 23.01.2024)
17. Пат. № 2183847 Российская Федерация, МПК G 03 B 37/00, A 01 G 23/00, G 06 K 9/36. Способ таксации насаждений : № 2000116650/28 : заявл. 28.06.2000 : опубл. 20.06.2002 / Давыдов В.Ф., Илларионов Г.П., Шалаев В.С., Комаров Е.Г., Мухин А.С.; заявитель МГУЛ. – 12 с.
18. Пат. № 2565280 Российская Федерация, МПК A01G 23/00 (2006.01). Способ лесотаксации территории : № 2012113106/13 : заявл. 04.04.2012 : опубл. 20.10.2015 / Пузаченко Ю.Г., Пузаченко М.Ю., Сандлерский Р.Б., Кренке А.Н., Котлов И.П.; заявитель ИПЭЭ РАН. – 11 с.
19. Пат. № 2728159 Российская Федерация, МПК A01G 23/00 (2006.01). Способ таксации насаждений : № 2019143729 : заявл. 23.12.2019 : опубл. 23.12.2019 / Васильев А.П., Кедров А.В.; заявитель ООО «Центр космических технологий и услуг». – 9 с.
20. Российская Федерация. Законы. Лесной кодекс Российской Федерации : федер. закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ : принят Гос. Думой 8 нояб. 2006 г. : одобрен Советом Федерации 24 нояб. 2006 г. (с изменениями на 4 августа 2023 года) (редакция, действующая с 1 января 2024 года) // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» – URL: https://docs.cntd.ru/document/902017047 (дата обращения: 23.01.2024).
21. Рубахин, В.Ф. Физиологические и психологические основы дешифрирования аэроснимков / В.Ф. Рубахин // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. – 2021. – Т. 6, № 3. – С. 181–202. – DOI: 10.38098/ipran.opwp_2021_20_3_009.
22. Самойлович, Г.Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве / Г.Г. Самойлович. – М. : Лесн. пром-сть, 1964. – 486 с.
23. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 11 фев. 2021 г. № 312-р // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». – URL: https://docs.cntd.ru/document/573658653?ysclid=ly8uktf95c270754763 (дата обращения: 23.01.2024)
24. Сушко, О.П. Направления и перспективы цифровизации лесного комплекса / О.П. Сушко // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 11. – С. 5127–5142. – DOI: 10.18334/epp.13.11.118935.
25. Ченушкина, С.В. Цифровая трансформация лесного хозяйства: технологии и распределенные реестры лесотранспортной инфраструктуры / С.В. Ченушкина, И.Н. Кручинин // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 4 (56). – С. 132–137. – DOI: 10.18324/2077-5415-2022-4-132-137.
26. Черниховский, Д.М. Теория и методы инвентаризации лесов на основе данных дистанционного зондирования Земли, цифрового моделирования рельефа и ГИС-технологий : дис. … д-ра с.-х. наук : 06.03.02 : защищена 23.09.20 : утв. 01.06.21 / Черниховский Дмитрий Михайлович. – СПб. : СПбГЛТУ, 2020. – 386 с.

27. Щепаченко, Д.Г. Изучение фитомассы лесов: текущее состояние и перспективы / Д.Г. Щепаченко, А.З. Швиденко, К. Пергер [и др.] // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 4. – С. 3–11. – DOI: 10.15372/SJFS20170401.
28. Barrett, F. Questionnaire-based review of the operational use of remotely sensed data by national forest inventories / F. Barrett, R.E. McRoberts, E. Tomppo [et al.] // Remote Sens. Environ. – 2016. – Vol. 174. – P. 279–289.
29. Holopainen, M. Modern data acquisition for forest inventories / M. Holopainen, J. Kalliovirta / Edited by A. Kangas and M. Maltamo // Forest Inventory. Methodology and Applications : Springer; 2006. – P. 343–362.
30. Kangas, A. Remote sensing and forest inventories in Nordic countries – roadmap for the future / A. Kangas, R. Astrup, J. Breidenbach [et al.] // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2018. – N 33 (4). – 16 p. – DOI: 10.1080/02827581.2017.1416666.
31. Koch, B. Remote Sensing supporting national forest inventories NFA. Knowledge reference for national forest assessments. Food and Agriculture Organization of the United Nations / B. Koch. – . URL: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/national_forest_assessment/images/PDFs/English/KR2_EN__8_.pdf (дата обращения 23.01.2024)
32. Lillesand, T.M. Remote Sensing and Image Interpretation / T.M. Lillesand, R.W. Kiefer, J.W. Chipman. – Seventh Edition. – New York : Wiley, 2015. – 736 p.
33. McRoberts, R.E. Remote sensing support for national forest inventories / R.E. McRoberts, E.O. Tomppo // Remote Sensing of Environment. – 2007. – Vol. 110. – P. 412–419.
34. The Marcus Wallenberg Prize. – URL: https://www.mwp.org/ (дата обращения: 23.01.2024)
35. Tomppo, E. National Forest Inventories. Pathways for Common Reporting / E. Tomppo, Th. Gschwantner, M. Lawrence, R.E. McRoberts (Eds.). – Springer Science & Business Media, 2010. – 612 p. – DOI: 10.1007/978-90-481-3233-1.
36. Ullah, S. Potential of modern photogrammetry versus airborne laser scanning for estimating forest variables in a mountain environment / S. Ullah, M. Dees, P. Datta [et al.] // Remote Sens. – 2019. – Vol. 11 (6). – P. 15. – DOI:10.3390/rs11060661.

REFERENCES

1. Arkhipov V.I., Chernikhovskii D.M., Berezin V.I. Opyt taksatsii lesov deshifrovochnym sposobom na osnove sovremennogo programmno-apparatnogo obespecheniya i tsifrovykh aerosnimkov novogo pokoleniya [An experience of forest inventory by photo interpretation method based on advanced firmware and digital aerial photographs of new generation]. *Sibirskii lesnoi zhurnal [Siberian Journal of Forest Science],* 2014, no. 5, pp. 29–37. (In Russian).
2. Arkhipov V.I., Baskov V.I., Belov V.A., Berezin V.I., Chernikhovskii D.M. Rukovodstvo po taksatsii lesov deshifrovochnym sposobom [A guide to the taxation of forests in the decryption method]. St. Petersburg, 2021, 99 p. – URL: https://lesproekt.org/?p=index (date of the application: 23.01.2024). (In Russian).
3. Arkhipov V.I., Chernikhovskii D.M., Berezin V.I., Belov V.A. Sovremennaya tekhnologiya taksatsii lesov deshifrovochnym sposobom “Ot s"emki – k proektu” [Modern technology of forest mensuration by interpretation method «From survey – to the project»]. *Izv. SPbLTA [News of the St. Petersburg Forestry Academy]*, 2014, is. 208, pp. 22–42. (In Russian).
4. Berezin V.I., Chernikhovskii D.M., Arkhipov V.I. Metodika vypolneniya gosudarstvennoi inventarizatsii lesov v ob"ektakh s nalichiem trudnodostupnykh territorii [The methodology of execution of the State forest inventory in the objects with presence of inaccessible territories]. *Izv. SPbLTA [News of the St. Petersburg Forestry Academy]*, 2016, is. 214, pp. 6–26. (In Russian).
5. Danilin A.I., Danilin I.M., Korets M.A., Nisnevich A.E., Onuchin A.A., Svishchev D.A., Scudin V.M. Nekotorye rezul'taty nauchno-issledovatel'skogo proekta po ispol'zovaniyu lazernoi i tsifrovoi aero- i kosmicheskoi s"emki pri taksatsii lesa [Some results of a research project on the use of laser and digital aerial and space photography in forest taxation]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo [Forest taxation and forest management]*, 2013, no. 1 (49), pp. 26–33. (In Russian).
6. Danilin I.M., Medvedev E.M. Nekotorye rezul'taty mezhdunarodnogo proekta po issledovaniyu vozmozhnostei lazernoi, radarnoi i tsifrovoi aeros"emki lesov [Some Results of International Project on Investigation of Possibilities for Laser, Radar and Digital Aerial Survey of Forests]. *IVUZ «Lesnoi zhurnal» [Russian Forestry Journal]*, 2008, no. 1, pp. 15–23. (In Russian).

7. Dmitriev I.D., Murakhtanov E.S., Sukhikh V.I. Lesnaya aerofotos"emka i aviatsiya [Forest aerial photography and aviation]. Moscow, Lesn. prom-st' [Forestry industry], 1981, 344 p. (In Russian).
8. Evchenko A.V. Regional'noe lesnoe khozyaistvo v ozhidanii tsifrovoi transformatsii organizatsionno-ekonomicheskogo mekhanizma upravleniya protsessami lesoustroistva i lesopol'zovaniya [Regional forestry in anticipation of the digital transformation of the organizational and economic mechanism for managing the processes of forest management and forest management]. *Aktual'nye voprosy ustoichivogo razvitiya sovremennogo obshchestva i ekonomiki. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical conference dedicated to the Year of Cultural Heritage of the Peoples of Russia, Kursk [Current issues of sustainable development of modern society and economy. Collection of scientific articles of the All-Russian scientific and practical conference. Financial University under the Government of the Russian Federation, Kursk branch.*], 2022, pp. 82–88. (In Russian).
9. Izmerenie lesa dronami [Measuring the forest by drones]. Onlain servis. URL: https://www.forestscanner.net/ (date of the application: 23.01.2024). (In Russian).
10. Kireev D.M. Metody izucheniya lesov po aerosnimkam [Methods of measuring forests from aerial photographs]. Novosibirsk, 1977, 212 p. (In Russian).
11. Larionov V.G., Bezrukova T.L., Sheremet'eva E.N., Barinova E.P., Vetchinkina M.V. Tsifrovaya transformatsiya lesnogo khozyaistva [Digital transformation of forestry]. *ZELENAYa EKONOMIKA: «IFORESt».* Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2021, pp. 64–70. DOI 10.34220/ZEIF2022_64-70. (In Russian).
12. Lesoustroitel'naya instruktsiya: utv. prikazom Minprirody Rossii ot 5 avgusta 2022 goda № 510 [Forest management instruction: approved by Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation no. 510 dated August 5, 2022]. Elektronnyi fond normativno-tekhnicheskoi i normativno-pravovoi informatsii Konsortsiuma "Kodeks". URL: https://docs.cntd.ru/document/351878696 (date of the application: 23.01.2024). (In Russian).
13. Lesproekt. URL: https://lesproekt.org/ (date of the application: 23.01.2024). (In Russian).
14. Medvedev E.M., Danilin I.M., Mel'nikov S.R. Lazernaya lokatsiya zemli i lesa: uchebnoe posobie [Laser location of the Earth and forests: textbook]. Izd. 2-e, pererab. i dop. Moscow; Krasnoyarsk, 2007, 230 p. (In Russian).
15. Morkovina S.S., Topcheev A.N. Organizatsiya kompleksnogo ispol'zovaniya lesnykh resursov na tsifrovoi osnove [Organization of integrated use of forest resources on a digital basis]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. Series: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment. 2020, vol. 10, no. 4, pp. 125–136. (In Russian).
16. Otkrytyi les [Open forest]: ofits. sait. URL: https://openles.ru/#les (date of the application: 23.01.2024). (In Russian).
17. Patent № 2183847 Rossiiskaya Federatsiya, MPK G 03 B 37/00, A 01 G 23/00, G 06 K 9/36. Sposob taksatsii nasazhdenii [The method of taxation of forest stands] : № 2000116650/28 : zayavl. 28.06.2000 : opubl. 20.06.2002 / Davydov V.F., Illarionov G.P., Shalaev V.S., Komarov E.G., Mukhin A.S.; zayavitel' MGUL, 12 p. (In Russian).
18. Patent № 2565280 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A01G 23/00 (2006.01). Sposob lesotaksatsii territorii [The method of forest taxation of the territory] : № 2012113106/13 : zayavl. 04.04.2012 : opubl. 20.10.2015 / Puzachenko Yu.G., Puzachenko M.Yu., Sandlerskii R.B., Krenke A.N., Kotlov I.P.; zayavitel' IPEE RAN, 11 p. (In Russian).
19. Patent № 2728159 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A01G 23/00 (2006.01). Sposob taksatsii nasazhdenii [The method of taxation of forest stands] : № 2019143729 : zayavl. 23.12.2019 : opubl. 23.12.2019 / Vasil'ev A.P., Kedrov A.V. ; zayavitel' OOO "Tsentr kosmicheskikh tekhnologii i uslug", 9 p. (In Russian).
20. Rossijskaja Federacija. Zakony. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii : feder. zakon ot 04.12.2006 υ 200-FZ : izmen. i dop. 01.03.2022 : prinjat Gos. dumoj 8 nojab. 2006 g. : odobren Sovetom Federacii 24 nojab. 2006 g. [Russian Federation. Laws. The Forest Code of the Russian Federation : feder. Law No. 200-FZ dated 04.12.2006 : adopted by the State Duma on November 8. 2006 : Approved by the Federation Council on November 24. 2006 (as amended on August 4, 2023) (version effective from January 1, 2024)] *Elektronnyi fond normativno-tekhnicheskoi i normativno-pravovoi informatsii Konsortsiuma "Kodeks"*. URL: https://docs.cntd.ru/document/902017047 (date of the application: 23.01.2024). (In Russian).
21. Rubakhin V.F. Fiziologicheskie i psikhologicheskie osnovy deshifrirovaniya aerosnimkov [Physiological and psychological foundations of aerial image decoding]. *Institut psikhologii Rossiiskoi akademii nauk.*

Organizatsionnaya psikhologiya i psikhologiya truda, 2021, vol. 6, no. 3, pp. 181–202. DOI: 10.38098/ipran.opwp_2021_20_3_009 (In Russian).

22. Samoilovich G.G. Primenenie aerofotos"emki i aviatsii v lesnom khozyaistve [The use of aerial photography and aviation in forestry]. Moscow, 1964, 486 p. (In Russian).
23. Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii do 2030. *Elektronnyi fond normativno-tekhnicheskoi i normativno-pravovoi informatsii Konsortsiuma "Kodeks"*. URL: https://docs.cntd.ru/document/573658653?ysclid=ly8uktf95c270754763 (date of the application: 23.01.2024). (In Russian).
24. Sushko O.P. Napravleniya i perspektivy tsifrovizatsii lesnogo kompleksa [Directions and prospects of digitalization of the forest complex]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 2023, vol. 13, no. 11, pp. 5127–5142. DOI: 10.18334/epp.13.11.118935 (In Russian).
25. Chenushkina S.V., Kruchinin I.N. Tsifrovaya transformatsiya lesnogo khozyaistva: tekhnologii i raspredelennye reestry lesotransportnoi infrastruktury [Digital transformation of forestry: technologies and distributed registers of forest transportation infrastructure]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2022, no. 4 (56), pp. 132–137. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-4-132-137 (In Russian).
26. Chernikhovskii D.M. Teoriya i metody inventarizatsii lesov na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli, tsifrovogo modelirovaniya rel'efa i GIS-tekhnologii [Theory and methods of forest inventory based on remote sensing data, digital terrain modeling and gis technologies]. Doctor's thesis. St. Petersburg, 2020, 386 p. (In Russian).
27. Shchepachenko D.G., Shvidenko A.Z., Perger K., Dresel K., Fritz S., Lakida P.I., Mukhortova L.V., Usoltsev V.A., Bobkova K.S., Osipov A.F., Martynenko O.V., Karminov V.N., Ontikov P.V., Shchepashchenko M.V., Kraxner F. Izuchenie fitomassy lesov: tekushchee sostoyanie i perspektivy [Study of forest phytomass: current status and prospects]. *Sibirskii lesnoi zhurnal*. 2017, no. 4, pp. 3–11. DOI: 10.15372/SJFS20170401 (In Russian).
28. Barrett F., McRoberts R.E., Tomppo E., Cienciala E., Waser L.T. Questionnaire-based review of the operational use of remotely sensed data by national forest inventories. *Remote Sens. Environ*., 2016, vol. 174, pp. 279–289.
29. Holopainen M., Kalliovirta J. Modern data acquisition for forest inventories. Edited by A. Kangas and M. Maltamo. Forest Inventory. Methodology and Applications, 2006, pp. 343–362.
30. Kangas A., Astrup R., Breidenbach J., Fridman J., Gobakken T., Korhonen K., Maltamo M., Nilsson M., Nord-Larsen T., Næsset E., Olsson H. Remote sensing and forest inventories in Nordic countries – roadmap for the future. *Scandinavian Journal of Forest Research,* 2018, no. 33 (4), 16 p. DOI: 10.1080/02827581.2017.1416666.
31. Koch B. Remote Sensing supporting national forest inventories NFA. Knowledge reference for national forest assessments. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/national_forest_assessment/images/PDFs/English/KR2_EN__8_.pdf (date of the application: 23.01.2024).
32. Lillesand T.M. Remote Sensing and Image Interpretation. New York, 2015, 736 p.
33. McRoberts R.E., Tomppo E.O. Remote sensing support for national forest inventories. *Remote Sensing of Environment*, 2007, vol. 110, pp. 412–419.
34. The Marcus Wallenberg Prize. URL: https://www.mwp.org/ (date of the application: 23.01.2024).
35. Tomppo E., Gschwantner Th., Lawrence M., McRoberts R.E. (Eds.). National Forest Inventories. Pathways for Common Reporting, 2010, 612 p. DOI: 10.1007/978-90-481-3233-1.
36. Ullah S., Dees M., Datta P., Adler P., Schardt M., Koch B. Potential of modern photogrammetry versus airborne laser scanning for estimating forest variables in a mountain environment. *Remote Sens,* 2019, vol. 11 (6), pp. 15. DOI:10.3390/rs11060661.

Статья поступила в редакцию 24.01.2024