

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2024, Том 11, № 2 / 2024, Vol. 11, Iss. 2 <https://resources.today/issue-2-2024.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/02INOR224.pdf>

DOI: 10.15862/02INOR224 (<https://doi.org/10.15862/02INOR224>)

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Диомидов, И. А. Развитие систем обработки информации о лесах и лесных ресурсах / И. А. Диомидов // Отходы и ресурсы. — 2024. — Т. 11. — № 2. — URL: <https://resources.today/PDF/02INOR224.pdf>  
DOI: 10.15862/02INOR224

**For citation:**

Diomidov I.A. The development of information processing systems for forests and forest resources. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2024;11(2): 02INOR224. Available at: <https://resources.today/PDF/02INOR224.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/02INOR224

УДК 004.051

**Диомидов Иван Андреевич<sup>1</sup>**

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия  
Аспирант

ФГБУ «Рослесинфорг», Иркутск, Россия  
Ведущий-инженер программист «Прибайкалеспект»

E-mail: pilad0hwttts@yandex.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1220889](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1220889)

## Развитие систем обработки информации о лесах и лесных ресурсах

**Аннотация.** Информационные системы применяются в лесной отрасли для решения широкого класса задач. Процесс их развития привела к возникновению разнородной совокупности систем и методов. Цель данной исследования определить дальнейшее их развитие и сформулировать план работы. Для этого автором был проведен обзор публикаций по предмету, как связанных теоретических работ, так и существующих систем и методов обработки. Руководствующим принципом отбора было полное и целостное освещение предметной области. Методы классифицированы по решаемым задачам и освещены в логическом порядке, начиная от распространенных и заканчивая экспериментальными. В результате было установлено, что существенным образом развиваются аналитические методы, что в будущем приведет к возникновению новых моделей данных. Развиваются геоинформационные системы, а именно распределенные сетевые. Проблема моделирования лесной растительности в целом является частью задачи моделирования экосистемы в целом. Автор сделал вывод, что интегрированные информационные системы являются актуальным направлением для отрасли. Предложен проект дальнейшего развития, декомпозирующий задачу построения информационных систем. Главной системой автор видит систему инвентаризации лесов, от которой все прочие зависимы и могут быть представлены как отдельные сервисы. Исследование вносят вклад в развитие теоретических представлений о системах обработки информации о лесах. Исследование является полезным для специалистов и исследователей в области лесного хозяйства, разработчиков профильного программного обеспечения.

<sup>1</sup> <https://vk.com/pilad0hwttts>

**Ключевые слова:** геоинформационные системы; базы данных; лесное хозяйство; имитационное моделирование; интеграция; программное обеспечение; инвентаризация лесов; лесоустройство

## Введение

Первые отнесённые к инвентаризации лесов документы датируются 18 и 19 веками.

Их цель стандартизация процесса оценки лесных массивов и древесных ресурсов. Алгоритмические методы стали применяться в 20 веке в связи с научно-техническим прогрессом и развитием программно-аппаратных средств, они увеличили скорость и эффективность обработки [1]. В настоящий момент в лесной отрасли для обработки информации стали использоваться специализированные информационные системы. Возникли принципиально новые задачи по созданию и обработке лесных баз данных. На протяжении последних десятилетий отрасль развивалась не системным образом. В профильных организациях закрепились различные подходы в обработке данных о лесах и лесных ресурсах. Это породило проблемы интеграции: на уровне баз данных, методов обработки, пользовательских интерфейсов и стандартов. Процесс информатизации отрасли замедлился в попытках решить эти проблемы. Параллельно возникли новые направления в моделировании процессов, мониторинга, интеллектуального анализа. Сложилась разнородная совокупность методов, обладающих разными качествами, но обрабатывающих в целом схожие данные. Важность совершенствования процессов лесоустройства и государственного лесного реестра признается на уровне государства. Повышение хозяйственно значимых показателей стало невозможно без надлежащей информатизации. Она является средством обеспечения качественной инвентаризации. Ее осуществление приведет к общему повышению эффективности лесопользования, охраны и воспроизводства лесных ресурсов.

В настоящий момент, ее главной задачей является проведение интеграции устоявшихся и новых формирующихся методов.

Цель настоящего исследования определение тенденций развития систем обработки о лесах и лесных ресурсах. Автор стремится охватить предмет наиболее широко и полно, учитывая, как и уже устоявшиеся направления, так и принципиально новые, что расширяет существующие представления о проблемах в области. Основным направлением анализа будет определение решаемых задач, возможностей внедрения и опыта эксплуатации систем.

Также, в последнее время информационные технологии стремительно развиваются, возникли новые методы обработки. Это вызывает потребность в повторном освещении данной темы. Сам вопрос построения информационных систем выходит за область проблем лесопромышленного комплекса и задач лесоводства. В связи с этим, в настоящем исследовании информационные системы обработки информации о лесах и лесных ресурсах сами стать объектам изучения.

## Обзор связанной литературы

Исследователями ранее затрагивалась проблема информатизации, создания интегрированных систем обработки. Авторы рассматривают проблему с различных точек зрения, что подчеркивает многофакторность исследуемого предмета. Рассматривается отдельно проблема интеграции информации. Для ее решения предлагается создание распределенной базы данных. Для непрерывной актуализации ставится также задача использование данных дистанционного зондирования [2].

Рассматривается проблема применения программного обеспечения. Анализ продуктов для лесного хозяйства показал, что они полезны при решении конкретных задач процесса лесозаготовок, но не способны решить пока проблемы всего комплекса. Это вызвано отсутствием интеграцией между программными продуктами [3].

Целесообразность интеграции методов отражена в работе по интеграции нескольких экологических имитационных моделей: древостоя, вещества почвы, гидротермических условий и моделей биологического разнообразия. Потребность интеграции в данном случае также проистекает из сложности природных систем, не позволяющей одной модели описать поведение реальной системы [4].

В работе подчеркивается проблема интеграции технологических стандартов, описываются проблемы перехода на электронный документооборот. В качестве решения предлагается распространение мобильных геоинформационных систем для работников лесничеств. Также рассматривается принципиально новая технология — цифровой двойник леса, которая может получить широкое распространение в ближайшем будущем [5].

Достижение информатизации ставится также в форме геоинформационного моделирования лесных экосистем. В ее состав предлагается включить модели лесобразующих пород на разных стадиях развития, модели второго и третьего яруса, модели напочвенного покрова. Разработка таких моделей необходима для наглядной демонстрации и получения новых знаний, выявление негативных факторов, оказывающих влияние на леса [6].

Исследователями проводится обзор имеющихся и разрабатываемых в Российской Федерации государственных систем обработки информации. Подчеркивается, что для эффективной организации учета оборота древесины путем внедрения информационных систем требуется устранить технические недочеты вводимых в эксплуатацию систем [7].

В исследованиях за рубежом проблема интеграции так явно не ставится, во многих государствах развитие шло эволюционным путем. В связи с этим, проблемы информационных систем для Российской Федерации являются в некотором роде уникальными, обусловлены сложным историческим контекстом, разным уровнем освоенности и масштабности территорий. Исследователи исследуют варианты дальнейшего развития отрасли, на основе новых технологий и опыта передовых стран.

В работе [8] проведен сравнительный анализ систем управления лесами в США и Турции.

Система управления лесами в США характеризуется широким использованием данных дистанционного зондирования: космические снимки, данные высотного лазерного сканирования (ВЛС). Упомянуто, что данные ВЛС покрывают практически всю территорию США, однако актуальность и регулярность данных варьируется. Лесная служба США (USDA Forest Service) взаимодействует с NASA в том числе при тушении лесных пожаров. В Турции активно используются так же дроны и СППР для противопожарных мероприятий. В целом опыт этих стран позволяет заключить, что дальнейшее развитие в лесной отрасли для Российской Федерации лежит так же в этой плоскости.

В Китае проблема информатизации рассматривается с позиций инвентаризации лесной экосистемы в целом [9]. Подобная точка зрения обусловлена критической ролью леса для экологии. Подчеркивается также возможность использования самых разнообразных данных, в частности лазерного сканирования вместе с космическими изображениями. Применяться должны инновационные технологии облачных вычислений, интернета вещей, Big Data [9].

## Обзор методов и систем обработки

Были отобраны исследования, посвященные созданию и улучшению методов обработки. Они классифицированы по целям создания и далее будут рассмотрены в логическом порядке, начиная от распространённых и устойчивых и заканчивая новыми или экспериментальными.

Метод таксации древостоев элемента леса является классическим и получил широкое распространение в России. Базовой единицей является множества деревьев одной породы и поколения в схожих лесорастительных условиях — древостой. В рамках метода используются статистические закономерности для моделирования динамики хода роста насаждений, объема производимой лесом древесины в пределах всего древостоя.

Исследователями подчеркивается важность знания структуры насаждений, законов распределения и потребность в обновлении аналитических программных комплексов [10; 11].

Методы и алгоритмы обработки оказывают определяющее значение на отрасль, затрагивая все прочие задачи. Они также определяют логическую структуру хранимой информации. Программная реализация алгоритмов может оставаться устаревшей. Процесс развития аналитических комплексов связан с переносом их на современные языковые платформы, обладающих обширной инструментальной поддержкой [12].

Методы обработки данных дистанционного зондирования стали альтернативным способом анализа растительности: космические изображения, аэрофотосъемка, стереосъемка, изображения с беспилотных летательных аппаратов. Информация о лесном участке представлена в виде матрицы величин отражений волны определенного спектра. Общей решаемой задачей является классификация объектов на изображении и переход к таксационным характеристикам. Анализ ведется в пределах лесного массива произвольной конфигурации (не в пределах древостоя). Среди достоинств: низкие затраты, высокая точность данных, стандартизированная (предсказуемая) обработка, снижение фактора человеческой ошибки [13–18].

Данные могут использоваться как в отдельности, так и в комбинации, например для автоматизированного выделения древостоев путем алгоритмической обработки и сегментации участка на гомогенные объекты [19].

Применяются и нейросетевые методы для семантической сегментации и классификации с обучением [20].

Активно ведется разработка методов обработки данных лазерного сканирования для анализа древесной растительности. Использоваться могут персональные наземные сканеры, установленные на наземные или летательные аппараты.

На основе облака точек строится трехмерная модель совокупности деревьев, включая ствол и форму кроны. Нейросетевые методы могут использоваться для классификации деревьев по морфологическим признакам. Область применения пока ограничена небольшими участками, однако, взамен этого достигается высокая точность [21–23].

Результатом применения методов анализа лесной растительности являются базы данных, содержащие характеристики лесов в цифровом виде. Сведения характеризуются своим широким охватом как в пространстве, так и во времени. Объектом таксации могут выступать как и лесосеки не более 50 га, так и лесные массивы, включающие десятки кварталов 25–1 600 га. Регулярность проведения может достигать как 10, так и 20 лет, в зависимости от интенсивности хозяйственных процессов.

Для анализа созданных баз данных, требуется надлежащая информационная поддержка, способная снизить перегрузку оператора информацией, повысить наглядность. Традиционно

для этого использовались печатные карты и сопроводительные документы. Данный вид лесоустроительной документации перешел в цифровую форму, бумажный формат заменяется геоинформационными системами (ГИС). Они способны интегрировать данные лесной таксации со спутниковыми или с другими типами пространственной информации, обладают специализированными методами их обработки [24–26].

Используются как ГИС общего пользования, так и специализированные разработки. Они могут быть установлены и использованы в мобильных планшетах. Это полезно для организации работ наземной таксации на отдаленных территориях, где ограниченная возможность использования персонального компьютера или ноутбука. Инженер может непосредственно на объекте заполнить базу данных, выявить и обработать ошибки измерения и ввода с помощью мобильного планшета. Сам планшет должен в этом случае включать обладать системой глобального позиционирования, поддерживать специфичные графические и атрибутивные информацию [27; 28].

Сетевые ГИС позволяют работать с пространственными данными в интернет-браузере. Структура и назначение такой ГИС варьируется и зависит конкретной задачи. Такие системы обладают собственным интерфейсом, ориентированы на интерактивное визуальное представление информации [29]. Так же они могут выполнять аналитическую работу, с использованием как классических методов, так и анализ данных дистанционного зондирования [30].

Следует отметить задачи составления прогнозов динамики лесов, проектирование лесных участков, проектирование мероприятий по охране, защите и воспроизводства лесов, для оценки качества проводимых мероприятий, оценки экологических последствий.

Данные задачи известны и изучаются исследователями по предмету как в нашей стране, так и за рубежом. Для их решения используются как аналитические методы, так и создаются специализированные системы моделирования. В работах проведен сравнительный анализ нескольких инструментов [31; 32].

Разрабатываемые системы могут быть отнесены к интеллектуальным, системам поддержки принятия решений, системам автоматизированного проектирования. Ценность таких систем для отрасли обусловлена сложностью природной системы, где лес является динамической и нестационарной системой. Главное преодолеваемое ограничение заключается в снижении влияния длительного интервала между проведенными действиями и последующими последствиями (изменениями), а также множеством факторов способных оказать влияние на систему. Инструмент моделирования на основе накопленной информации способен предупреждать возникновение нежелательных ситуаций или предлагать решения для достижения желательного состояния.

Созданы системы способные осуществлять прогноз динамики насаждений (эксплуатационного запаса, породно-возрастной структуры) и прогноз экономических характеристик: доход по главной рубки, затраты на лесовосстановление [33].

Лежащий в основе метод имитационное моделирование может базироваться на агентных подходах [34]. В этом случае моделируется поведение трех агентов: природы, хозяйственной деятельности, государства. Выполняется моделирование процессов лесозаготовки, произрастания насаждений, лесовосстановления.

Сложность природной системы вынуждает использовать различные интеграционные подходы. Вместо усложнение модели, предпринимаются попытки интеграции сразу нескольких.

В данных работах задача моделирования лесной растительности рассматривается как часть задачи моделирования экосистемных услуг лесов (англ. Ecosystem Service). Выполняется интеграция сразу нескольких моделей: древостоя, вещества почвы, гидротермических условий и моделей биологического разнообразия. Система способна проводить оценку и прогноз лесных экосистем на основе широкого спектра экосистемных функций [35; 36].

### Анализ

Аналитические методы развиваются наиболее интенсивно. Создан ряд методик выполнения таксации дистанционными методами с использованием аэрофотосъемки и стереосъемки. Логичным развитием методики должно созданием информационной системы сопровождения данных методик, их автоматизация и созданием специализированных комплексов.

Некоторые известные аналитические методы требуют своего обновления. Для этого требуется перенос уже существующих программных комплексов на современные программные платформы вместе с комбинацией их с новыми методиками обработки.

Развитие сетевых технологий повышает важность для отрасли сетевых ГИС. Большинство исследователей считают важным при создании новых информационных ресурсов использование именно распределенной архитектуры. Ключевым элементом таких систем является интегрированная база данных. На этом уровне имеются специальные для отрасли проблемы. Лесные территории России освоены и изучены неравномерно. На уже изученной территории в уже накопленной информации имеются труднодиагностируемые ошибки и противоречия. В исследовании [37] проведена работа по классификации имеющихся атрибутивных и пространственных ошибок в базах данных. Большой класс ошибок относится к ошибкам топологии в пространственной геометрии. Для их эффективной диагностики и исправления требуется алгоритмическая поддержка.

Опыт зарубежных стран и развивающиеся технологии таксации лазерной таксации показывают, что в обозримом будущем актуальность задачи построения цифрового двойника леса будет повышаться. Основной проблемой ранее являлись ограничения, связанные с высокой затратностью традиционных методов учета массива деревьев и отсутствием потребности в таком высоком уровне подробности и точности данных.

Сейчас требования повышаются, а технические ограничения преодолеваются.

Разрабатываются методы создания трехмерной цифровой модели древесной растительности путем автоматизированной обработки облака точек с лидара, но пока для сравнительно небольших участков.

Применительно к Российской Федерации, может потребоваться использование комбинированных методов с разделением участков с подробной и обобщенной информацией. Преобразование ретроспективных обобщенных данных в новый трехмерный и наоборот станет актуальной проблемой. В работе [38] решается аналогичная задача: совмещение космических снимков с данными инвентаризации лесов.

В целом лесная отрасль в России крайне зависима от государственной политики, так как леса находятся в государственной собственности. Пока существует неопределенность на юридическом уровне. Лесной Кодекс вступил в действие в относительно недавней исторической перспективе в 2008 году, новая лесоустроительная инструкция вступила в силу в 2023 году. Это влияет на процессы информатизации тем образом, что является еще одним фактором устаревания эксплуатируемым информационным системам. Время разработки интегрированной системы займет существенное время, а в связи с вероятностью возникновения

изменений она может концептуально устареть на любом из этапов цикла разработки. Развитие новых аналитических методов и возможный переход к новому формату данных повышает риск возникновения такого сценария.

Имеющиеся тенденции в разработке систем временного моделирования показывают, что на уровне информационных систем проявляется глубокая связь леса с остальными природными аспектами. В связи с чем, вопрос моделирования динамики лесов является частью общей задачи моделирования всей природной экосистемы. Исследователи стремятся совместить различные системы моделирования, для получения целостной и общей картины. Однако, рассмотрение задача моделирования процесса лесопользования остается актуальной и независимой задачей.

### Проект развития

После обобщения опыта в отобранных исследованиях сделан вывод, что дальнейшее развитие в области связано с созданием комбинированных систем. Для большинства задач уже предложено большое число методов обработки и анализа данных. Проблема выбора и оценки их эффективности являются актуальной.

В связи с обширностью решаемых проблем, множества методов обработки и динамичностью условий, в настоящий момент затруднительно говорить о создании универсальной системы обработки информации о лесах. Однако, имеется возможность создать платформу для ее дальнейшего конструирования. Базой для всех методов является система инвентаризации, которую можно оценивать качественно по критериям точности и полноты данных независимо. Остальные системы находятся в отношении к ней: обновляют, используют, уточняют, анализируют.

Данная система должна обладать рядом свойств, для того чтобы учитывать все существующие тенденции и решать складывающиеся проблемы и задачи:

1. Контроль качества данных. Это является ключевой проблемой интеграции баз данных. Необходимо фрагментировать информацию по ее точности и полноте.
2. Комбинация ретроспективных и современных аналитических методов. Система не должна использовать predetermined набор методов, а предлагать возможность их комбинации и взаимозаменяемости. Выбор наиболее эффективных может варьироваться в зависимости от задач и исходных условий.
3. Формирование банков ретроспективных данных. Важной проблемой является интеграция временных данных между собой и с актуальными данными. Это в первую очередь необходимо для построения интеллектуальных систем, анализа динамики лесов. Необходимо создавать банки данных, на основе которых формировать имитационные модели и оценивать эффективность их работы.
4. Визуализация. Важным свойством анализируемых данных является их обширность и временной характер. Система должна включать в себя инструменты визуального и графического анализа лесных участков.
5. Мультиструктурность данных. Множество аналитических методов указывают на то, что в настоящий момент затруднительно использовать единый формата данных. Система должна обладать инструментами взаимной конвертации между различными форматами: лесной массив, древостой, единичное дерево.

Создаваемая система будет ценна для организаций широкого профиля: органов местной и исполнительной власти, операторов лесоустройства, лесопользователей, научных центров.

При создании системы следует учитывать фактор неопределенности требований и изменчивости природной среды. Большая часть создаваемых интегрированных систем используют водопадную (или каскадную) модель разработки, не ориентируясь на возможность дальнейшей расширяемости или изменений системы.

Наиболее актуальной и эффективной моделью организации создания программных систем остаются гибкие методологии (англ. Agile). В основу предлагаемого метода является создание системы в распределенном виде и разбиение существующих методов на отдельные сервисы (табл. 1) [39].

Таблица 1

### Сервисы на основе методов

Сервис	Цель	Задачи
Аналитический	Обработка качественных и количественных характеристик лесов и ресурсов.	Повышение эффективности учета. Оптимизация вычислений. Совершенствование методов вычисления таксационных характеристик лесов.
Визуализационный	Построение отчетов или картосхем.	Повышение наглядности данных. Обеспечение совместного анализа данных. Оптимизация доступа к данным.
Интеграционный	Хранение разнородной информации о лесах и лесных ресурсах.	Повышение достоверности данных. Контроль качества данных. Обеспечение общего хранения.
Интеллектуальный	Интеллектуальный анализ лесоустроительных сведений.	Выявление закономерностей динамики лесов. Формирование баз знаний.
Автоматизированный	Автоматизация хозяйственных процессов.	Поддержка хозяйственных процессов. Автоматическое проектирование.
Прогностический	Создание сценариев изменений динамики лесной растительности.	Анализ последствий. Моделирование лесопользования. Моделирование естественных процессов. Составление прогнозов на основе входных параметров.

*Составлено автором*

Разработка каждого из сервисов, детализация и архитектура требует дополнительного освещения. Каждый сервис может представлять собой в действительность группу сервисов, например, аналитические могут подразделяться на обработку космической съемки, лидарных данных и иных типов.

Ключевой проблемой имеющих глобальных систем автор видит сложность на этапе внедрения системы. Возможность создания гибкой системы инвентаризации с упомянутыми свойствами позволит перейти к этапу внедрения и распространения как можно раньше. Так как она сможет выступать универсальным инструментом контроля качества данных благодаря возможности проведения сравнительного анализа.

В дальнейшем, функции системы можно дорабатывать и расширять в зависимости от конкретных задач и имеющих методов обработки.

### Заключение

В исследовании был проведен обзор теоретических работ по теме создания систем обработки информации о лесах и лесных ресурсах, а также изучен опыт создания. Замедление информатизации лесной отрасли в России вызваны интеграционными проблемами: интеграция методов, данных и стандартов. Принципиально новые методы обработки и инвентаризации исследуются и внедряются как в России, так и за рубежом. Во многом они опираются на

современные технические средства по сбору информации. Анализ, что многие ориентированы на выполнение конкретной задачи, но слабо изучена возможность и способы их совмещения. Исходя из имеющихся практик временного моделирования, автор делает вывод, что развитие лесных информационных систем приведет является частью задачи моделирования всей экосистемы. В связи с этим автор видит дальнейшее развитие систем обработки о лесах информации о лесах и лесных ресурсах через создание комбинированной гибкой системы обработки. Первой и основной задачей этой системы должна стать оценка и сравнительный анализ имеющихся методов обработки. Для снижения рисков внедрения, целевая система должна разрабатываться прежде всего как система инвентаризации, являющейся базой для всех остальных методов. Она должна стремиться обеспечить качество загружаемых в нее данных, путем использования различных аналитических методов: полевые данные, данные дистанционного зондирования, интеллектуальный анализ. Из остальных задач: формировать временные банки данных, поддерживать мультиструктурность данных, иметь гибкие графические инструменты представления данных. Дальнейшее расширение данной системы связано с имеющимися направлениями обработки и анализа данных и могут быть представлены в виде отдельных микросервисов. Функции сервисов были созданы на основе имеющихся разработок объединенные в следующие классы: аналитические, визуализационные, интеграционные, интеллектуальные, автоматизированные и прогностические. Дальнейшее направление исследований по данной проблеме связаны с проектированием конкретных микросервисов, изучения вариантов графического представления информации о лесах и лесных ресурсах, подробное освещение проблем связанных с совмещением ретроспективных и актуальных данных, данных разных форматов, а также вопросы обеспечения качества данных с учетом многообразия современных аналитических методов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Креснов, В.Г. Применение ГИС в лесоустройстве и лесном хозяйстве / В.Г. Креснов // Гео-Сибирь. — 2005. — Т. 3, № 1. — С. 10–15. — EDN PVMIRL — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18803391> (дата обращения 20.05.2024).
2. Гурьев, А.Т. Концепция создания распределённой базы данных возобновляемых природных ресурсов / А.Т. Гурьев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2010. — № S5. — С. 84–94. — EDN NRXDML — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16263308> (дата обращения 20.05.2024).
3. Программное обеспечение в лесном хозяйстве и при лесозаготовках / А.Н. Заикин, В.В. Сиваков, В.В. Никитин, А.А. Брионес // Лесной вестник. Forestry Bulletin. — 2023. — Т. 27, № 4. — С. 172–184. — DOI 10.18698/2542-1468-2023-4-172-184. — EDN FYNYYY — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=kjqalr&ysclid=lwgnj7k1c3793635313> (дата обращения 20.05.2024).
4. Интеграция имитационных моделей для комплексной оценки экосистемных услуг лесов: методические подходы / П.Я. Грабарник, О.Г. Чертов, С.И. Чумаченко [и др.] // Математическая биология и биоинформатика. — 2019. — Т. 14, № 2. — С. 488–499. — DOI 10.17537/2019.14.488. — EDN NMSPOC — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42429013&ysclid=lxlpe3vs84529858822> (дата обращения 20.05.2024).

5. Лебзак, Е.В. Современные проблемы и направления развития лесной картографии / Е.В. Лебзак // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2022. — Т. 1. — С. 198–205. — DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-198-205. — EDN BWZUPU — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49387560> (дата обращения 20.05.2024).
6. Вагизов, М.Р. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 1) / М.Р. Вагизов // Геоинформатика. — 2021. — № 4. — С. 43–49. — DOI 10.47148/1609-364X-2021-4-43-49. — EDN HNTFNW — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=hntfnw&ysclid=lwgn47wubq846668953> (дата обращения 20.05.2024).
7. Антощенко, А.В. К вопросу об информатизации лесопромышленного комплекса / А.В. Антощенко // E-Scio. — 2023. — № 2(77). — С. 524–531. — EDN YIQDFU — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50474907&ysclid=lxlpgezaj9350863736> (дата обращения 20.05.2024).
8. Vatandaşlar, Can. (2024). Comparative analysis of forestry systems in the United States and Turkey: Practices, technologies, and challenges. Eurasian Journal of Forest Science. 10.31195/ejejfs.1413359 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/378575745\\_Comparative\\_analysis\\_of\\_forestry\\_systems\\_in\\_the\\_United\\_States\\_and\\_Turkey\\_Practices\\_technologies\\_and\\_challenges](https://www.researchgate.net/publication/378575745_Comparative_analysis_of_forestry_systems_in_the_United_States_and_Turkey_Practices_technologies_and_challenges) (дата обращения 20.05.2024).
9. Wang, Bing & Niu, Xiang & Wei, Wenjun. (2020). National Forest Ecosystem Inventory System of China: Methodology and Applications. Forests. 11. 732. 10.3390/f11070732 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/342709928\\_National\\_Forest\\_Ecosystem\\_Inventory\\_System\\_of\\_China\\_Methodology\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/342709928_National_Forest_Ecosystem_Inventory_System_of_China_Methodology_and_Applications) (дата обращения 20.05.2024).
10. Михайлова, А.С. Обновление программного комплекса для изучения сортиментной и товарной структуры древостоев / А.С. Михайлова, Д.Ю. Маньлова // Хвойные бореальной зоны. — 2018. — Т. 36, № 6. — С. 507–510. — EDN YZCUHR — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37078287> (дата обращения 20.05.2024).
11. Алешин, И.В. Унификация камерального этапа лесоустроительных работ на примере проекта «SIGMA» / И.В. Алешин // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 17 июня 2021 года. — Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2021. — С. 14–16. — DOI 10.34220/MMEITSIC2021\_14-16. — EDN FRYYWK — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=fryywk> (дата обращения 20.05.2024).
12. Stanke, Hunter & Finley, Andrew & Weed, Aaron & Walters, Brian & Domke, Grant. (2020). rFIA: An R package for estimation of forest attributes with the US Forest Inventory and Analysis database. Environmental Modelling & Software. 127. 104664. 10.1016/j.envsoft.2020.104664 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/339292907\\_rFIA\\_An\\_R\\_package\\_for\\_estimation\\_of\\_forest\\_attributes\\_with\\_the\\_US\\_Forest\\_Inventory\\_and\\_Analysis\\_database](https://www.researchgate.net/publication/339292907_rFIA_An_R_package_for_estimation_of_forest_attributes_with_the_US_Forest_Inventory_and_Analysis_database) (дата обращения 20.05.2024).
13. Современная технология таксации лесов дешифровочным способом "От съемки — к проекту" / В.И. Архипов, Д.М. Черниховский, В.И. Березин, В.А. Белов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. — 2014. — № 208. — С. 22–42. — EDN THIUYYV — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=thiuyv&ysclid=lw8ku65td4294410239> (дата обращения 20.05.2024).

14. Гук, А.П. Основные направления совершенствования автоматизации дешифрирования лесных массивов по многоспектральным аэрокосмическим снимкам / А.П. Гук, Л.Г. Евстратова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2018. — Т. 11, № 8. — С. 892–901. — DOI 10.17516/1999-494X-0111. — EDN YPMTEL — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36528942> (дата обращения 20.05.2024).
15. Технология комплексной оценки древесных ресурсов методами дистанционного зондирования земли / В.К. Хлюстов, С.А. Юрчук, Д.В. Хлюстов, А.М. Ганихин // Природообустройство. — 2021. — № 4. — С. 129–138. — DOI 10.26897/1997-6011-2021-4-129-138. — EDN DPWXQA — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46704941> (дата обращения 20.05.2024).
16. Тематическое дешифрирование аэроснимков лесных территорий на основе концептуального моделирования / К.В. Шошина, Р.А. Алешко, В.В. Березовский [и др.] // Онтология проектирования. — 2023. — Т. 13, № 3(49). — С. 437–454. — DOI 10.18287/2223-9537-2023-13-3-437-454. — EDN IXSFAN — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54594767> (дата обращения 20.05.2024).
17. Классификация космоснимков Sentinel-2 Байкальской природной территории / И.В. Бычков, Г.М. Ружников, Р.К. Федоров [и др.] // Компьютерная оптика. — 2022. — Т. 46, № 1. — С. 90–96. — DOI 10.18287/2412-6179-CO-1022. — EDN TCZVNR — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48061303> (дата обращения 20.05.2024).
18. Kuusk, Andres & Lang, Mait. (2020). Integration of statistical forest reflectance model and Sentinel-2 MSI images into a continuous forest inventory system. BALTIC FORESTRY. 26. 10.46490/BF467 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/343563600\\_Integration\\_of\\_statistical\\_forest\\_reflectance\\_model\\_and\\_Sentinel-2\\_MSI\\_images\\_into\\_a\\_continuous\\_forest\\_inventory\\_system](https://www.researchgate.net/publication/343563600_Integration_of_statistical_forest_reflectance_model_and_Sentinel-2_MSI_images_into_a_continuous_forest_inventory_system) (дата обращения 20.05.2024).
19. Sankhe, Advait & Vatandaşlar, Can & Maier, Fred & Rasheed, Khaled. (2024). Automating Forest Stand Delineation using AI Integration of Optical Imagery, Airborne LiDAR, and Forest Inventory Data — URL: [https://www.researchgate.net/publication/380209644\\_Automating\\_Forest\\_Stand\\_Delineation\\_using\\_AI\\_Integration\\_of\\_Optical\\_Imagery\\_Airborne\\_LiDAR\\_and\\_Forest\\_Inventory\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/380209644_Automating_Forest_Stand_Delineation_using_AI_Integration_of_Optical_Imagery_Airborne_LiDAR_and_Forest_Inventory_Data) (дата обращения 20.05.2024).
20. Применение нейросетевых подходов для сегментации геопространственных изображений при решении задач управления территориальными системами / А.А. Камаева, А.С. Ротанов, Ю.Е. Тепаева, С.А. Ямашкин // Инженерный вестник Дона. — 2023. — № 2(98). — С. 224–234. — EDN JMIXLZ — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50433178> (дата обращения 20.05.2024).
21. Wang, Xiaochen & Haiyun, Yao & Ma, Y. & Liang, X. (2023). A comparison study of low-cost personal laser scanning systems for forest plot-level inventories. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLVIII-1/W2-2023. 1809–1815. 10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-1809-2023 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/376548074\\_A\\_COMPARISON\\_STUDY\\_OF\\_LOW-COST\\_PERSONAL\\_LASER\\_SCANNING\\_SYSTEMS\\_FOR\\_FOREST\\_PLOT-LEVEL\\_INVENTORIES](https://www.researchgate.net/publication/376548074_A_COMPARISON_STUDY_OF_LOW-COST_PERSONAL_LASER_SCANNING_SYSTEMS_FOR_FOREST_PLOT-LEVEL_INVENTORIES) (дата обращения 20.05.2024).

22. Corrao, Mark & Sparks, Aaron & Smith, Alistair. (2022). A Conventional Cruise and Felled-Tree Validation of Individual Tree Diameter, Height and Volume Derived from Airborne Laser Scanning Data of a Loblolly Pine (*P. taeda*) Stand in Eastern Texas. *Remote Sensing*. 14. 2567. 10.3390/rs14112567 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/360909782\\_A\\_Conventional\\_Cruise\\_and\\_FelledTree\\_Validation\\_of\\_Individual\\_Tree\\_Diameter\\_Height\\_and\\_Volume\\_Derived\\_from\\_Airborne\\_Laser\\_Scanning\\_Data\\_of\\_a\\_Loblolly\\_Pine\\_P\\_taeda\\_Stand\\_in\\_Eastern\\_Texas](https://www.researchgate.net/publication/360909782_A_Conventional_Cruise_and_FelledTree_Validation_of_Individual_Tree_Diameter_Height_and_Volume_Derived_from_Airborne_Laser_Scanning_Data_of_a_Loblolly_Pine_P_taeda_Stand_in_Eastern_Texas) (дата обращения 20.05.2024).
23. Qian, Chuang & Liu, Hui & Tang, Jian & Chen, Yuwei & Kaartinen, Harri & Kukko, Antero & Zhu, Lingli & Liang, Xinlian & Chen, Liang & Hyypä, Juha. (2016). An integrated GNSS/INS/LiDAR-SLAM positioning method for highly accurate forest stem mapping. *Remote Sensing*. 9. 3. 10.3390/rs9010003 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/376544230\\_FOREST\\_FEATURE\\_LIDAR\\_SLAM\\_F\\_2\\_-\\_LSLAM\\_AND\\_INTEGRATED\\_SCAN\\_SIMULTANEOUS\\_TRAJECTORY\\_ENHANCEMENT\\_AND\\_MAPPING\\_IS\\_2\\_-\\_TEAM\\_FOR\\_ACCURATE\\_FOREST\\_INVENTORY\\_USING\\_BACKPACK\\_SYSTEMS?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InNjaWVuY2VUb3BpYyJ9fQ](https://www.researchgate.net/publication/376544230_FOREST_FEATURE_LIDAR_SLAM_F_2_-_LSLAM_AND_INTEGRATED_SCAN_SIMULTANEOUS_TRAJECTORY_ENHANCEMENT_AND_MAPPING_IS_2_-_TEAM_FOR_ACCURATE_FOREST_INVENTORY_USING_BACKPACK_SYSTEMS?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InNjaWVuY2VUb3BpYyJ9fQ) (дата обращения 20.05.2024).
24. Бочарова, А.А. Состояние и перспективы геоинформационного обеспечения решения задач лесного хозяйства / А.А. Бочарова // *Гео-Сибирь*. — 2010. — Т. 3, № 2. — С. 264–268. — EDN PFOMCL — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18075976> (дата обращения 20.05.2024).
25. Сравнительный анализ информационных программных продуктов для лесной отрасли / А.С. Оплетаев, А.И. Чермных, Е.В. Жигулин, К.А. Воронцова // *Леса России и хозяйство в них*. — 2020. — № 1(72). — С. 32–38. — EDN WLFNVO — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43806602> (дата обращения 20.05.2024).
26. Даниленко, О.К. Исследование применимости данных информационно-аналитических систем для проектирования и моделирования технологических процессов лесозаготовительных работ / О.К. Даниленко, А.Н. Сухих // *Системы. Методы. Технологии*. — 2019. — № 1(41). — С. 84–89. — DOI 10.18324/2077-5415-2019-1-84-89. — EDN FFYYEK — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38221228> (дата обращения 20.05.2024).
27. Юшков, Д.А. Разработка проекта мобильного приложения для обработки данных отвода и таксации лесосек / Д.А. Юшков // *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. — 2018. — № 1(25). — С. 6. — EDN YNSYJE — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32380727> (дата обращения 20.05.2024).
28. Wan-qiang, Yao & Chong-gui, Li. (2010). Mobile GIS System for Forest Resources Inventory. 10.1109/ICMULT.2010.5629670 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/251969670\\_Mobile\\_GIS\\_System\\_for\\_Forest\\_Resources\\_Inventory](https://www.researchgate.net/publication/251969670_Mobile_GIS_System_for_Forest_Resources_Inventory) (дата обращения 20.05.2024).
29. Применение региональной геоинформационной системы «Умный лес» при управлении лесным хозяйством Пермского края / Т.С. Воробьева, Л.А. Белов, Я.Ю. Кетова, К.В. Галка // *Леса России и хозяйство в них*. — 2023. — № 1(84). — С. 74–80. — DOI 10.51318/FRET.2023.31.59.008. — EDN APHYJO — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50731837> (дата обращения 20.05.2024).

30. Система "Вега-Science": особенности построения, основные возможности и опыт использования / Е.А. Лупян, А.А. Прошин, М.А. Бурцев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2021. — Т. 18, № 6. — С. 9–31. — DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31. — EDN DZXTMC — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47553160> (дата обращения 20.05.2024).
31. Mishra, Rajesh & Tiwari, Sharad & Agarwal, Rekha. (2020). Role and potential of decision support systems in forestry. *Plants and Environment*. 2. 108–112. 10.22271/2582-3744.2020.sep.108 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/348870020\\_Role\\_and\\_potential\\_of\\_decision\\_support\\_systems\\_in\\_forestry](https://www.researchgate.net/publication/348870020_Role_and_potential_of_decision_support_systems_in_forestry) (дата обращения 20.05.2024).
32. Ханина, Л.Г. Компьютерные системы поддержки принятия решений в лесном хозяйстве: обзор современного состояния / Л.Г. Ханина, В.Э. Смирнов, Н.В. Лукина // Хвойные бореальной зоны. — 2009. — Т. 26, № 2. — С. 187–196. — EDN MUNJMD — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15195092> (дата обращения 20.05.2024).
33. Имитационное моделирование динамики насаждений forrus-s — инструмент выбора стратегии и планирования лесного хозяйства / С.И. Чумаченко, М.М. Паленова, С.В. Починков, Е.В. Кухар Кина // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. — 2007. — № 5. — С. 143–152. — EDN HRPDNF — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10133804> (дата обращения 20.05.2024).
34. Алферьев, Д.А. Агент-ориентированное моделирование устойчивой лесной деятельности / Д.А. Алферьев // Искусственные общества. — 2023. — Т. 18, № 4. — DOI 10.18254/S207751800028426-7. — EDN TARKWV — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=58732712> (дата обращения 20.05.2024).
35. Интеграция имитационных моделей для комплексной оценки экосистемных услуг лесов: методические подходы / П.Я. Грабарник, О.Г. Чертов, С.И. Чумаченко [и др.] // Математическая биология и биоинформатика. — 2019. — Т. 14, № 2. — С. 488–499. — DOI 10.17537/2019.14.488. — EDN NMSPOC — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42429013> (дата обращения 20.05.2024).
36. Habib, Thomas & Heckbert, Scott & Wilson, Jeffrey & Vandenbroeck, Andrew & Cranston, Jerome & Farr, Dan. (2016). Impacts of land-use management on ecosystem services and biodiversity: An agent-based modelling approach. *PeerJ*. 4. 10.7717/peerj.2814 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/311950790\\_Impacts\\_of\\_land-use\\_management\\_on\\_ecosystem\\_services\\_and\\_biodiversity\\_An\\_agent-based\\_modelling\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/311950790_Impacts_of_land-use_management_on_ecosystem_services_and_biodiversity_An_agent-based_modelling_approach) (дата обращения 20.05.2024).
37. Литвинов, В.А. Типовые ошибки в информационных ресурсах ГИС, правила и особенности их выявления в сфере лесного хозяйства (на примере системы "ГИС-Леспроект") / В.А. Литвинов, С.Я. Майстренко, К.В. Хурцилава // Математические машины и системы. — 2016. — № 2. — С. 78–90. — EDN WJKZAD — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26569572> (дата обращения 20.05.2024).
38. Blickensdörfer, Lukas & Oehmichen, Katja & Pflugmacher, Dirk & Kleinschmit, Birgit & Hostert, Patrick. (2024). National tree species mapping using Sentinel-1/2 time series and German National Forest Inventory data. *Remote Sensing of Environment*. 304. 114069. 10.1016/j.rse.2024.114069 — URL: [https://www.researchgate.net/publication/379340871\\_National\\_tree\\_species\\_mapping\\_using\\_Sentinel-12\\_time\\_series\\_and\\_German\\_National\\_Forest\\_Inventory\\_data](https://www.researchgate.net/publication/379340871_National_tree_species_mapping_using_Sentinel-12_time_series_and_German_National_Forest_Inventory_data) (дата обращения 20.05.2024).

39. Beard, Jon & Storey, Veda & Samuel, Binny & Lukyanenko, Roman & Wiedemann, Anna & Schuff, David & Ogunseye, Shawn & Islamzada, Zohra & Islamzada, Fereshta. (2024). Agile Development: The Promise, the Reality, the Opportunity — URL: [https://www.researchgate.net/publication/380216126\\_Agile\\_Development\\_The\\_Promise\\_the\\_Reality\\_the\\_Opportunity](https://www.researchgate.net/publication/380216126_Agile_Development_The_Promise_the_Reality_the_Opportunity) (дата обращения 20.05.2024).

**Diomidov Ivan Andreevich**

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Roslesinfor, Irkutsk, Russia

E-mail: [pilad0hwts@yandex.ru](mailto:pilad0hwts@yandex.ru)

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1220889](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1220889)

## The development of information processing systems for forests and forest resources

**Abstract.** Information systems are applied in the forestry sector to address a wide range of tasks. The process of their development has led to the emergence of a heterogeneous set of systems and methods. The aim of the research is to determine their further development and formulate a work plan. To achieve this, the author conducted a review of publications on the subject, including both theoretical works and existing systems and processing methods. The guiding principle of selection was to provide a comprehensive and thorough coverage of the subject area. The methods were classified according to the tasks they solve and presented in logical order, starting from the widely used ones and ending with experimental ones. As a result, it was found that analytical methods are developing significantly, which will lead to the emergence of new data models in the future. Geographic information systems, specifically distributed network-based ones, are also evolving. The problem of modeling forest vegetation is generally part of the task of modeling ecosystems as a whole. The author concluded that integrated information systems are a relevant direction for the industry. A project for further development was proposed, decomposing the task of building information systems. The author sees the forest inventory system as the main system, upon which all other systems depend and can be presented as separate services. The research contributes to the development of theoretical concepts of forest information processing systems. It is useful for specialists and researchers in the field of forestry, as well as developers of specialized software.

**Keywords:** geographic information systems; databases; forestry; simulation modeling; integration; software; forest inventory; forest management