

Научная статья

УДК 004.89

DOI: <https://doi.org/10.18127/j19998554-202506-09>

Ситуационные центры лесного хозяйства: обработка больших данных

Н.Ю. Гушан¹

¹ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва, Россия)

¹ 249351@edu.fa.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные центры управления лесными ресурсами сталкиваются с необходимостью обработки огромных объемов пространственно-временных данных, поступающих из разнородных источников: спутников, сенсоров, объектов видеонаблюдения. Это создает вызовы, связанные с масштабируемостью, скоростью реакции и достоверностью информации при мониторинге лесных пожаров, вырубок лесов и других чрезвычайных ситуаций.

Цель. Провести анализ принципов работы ситуационных центров лесного хозяйства с точки зрения обработки больших данных, а также выполнить сравнительную оценку методов поддержки принятия решений.

Результаты. Рассмотрены архитектура и задачи ситуационных центров лесного хозяйства. Приведены примеры российских и международных реализаций алгоритмов обработки больших данных. Описана иерархическая модель поддержки принятия решений с учётом вычислительных ограничений. Проведено сравнение методов многокритериальной оценки (MAI и TOPSIS) по вычислительной эффективности при разных условиях.

Практическая значимость. Представленные в работе результаты и рекомендации могут быть использованы при проектировании и модернизации ситуационных центров лесного хозяйства, выборе аналитических методов в условиях ограниченных ресурсов, а также при интеграции искусственного интеллекта в природоохранные цифровые платформы.

Ключевые слова

Ситуационный центр, лесное хозяйство, геоинформатика, дистанционное зондирование, большие данные, многокритериальный анализ, ИИ

Для цитирования

Гушан Н.Ю. Ситуационные центры лесного хозяйства: обработка больших данных // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2025. Т. 27. № 6. С. 88–95. DOI: 10.18127/j19998554-202506-09

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Ситуационный центр (СЦ) – это совокупность специализированных рабочих мест для коллективной аналитической работы по оперативному управлению, контролю и мониторингу различных объектов и ситуаций [1]. Основное назначение таких центров – визуализация и аналитическая обработка оперативной информации для поддержки стратегических и тактических решений. В сфере природопользования и лесного хозяйства СЦ используют средства геоинформационных систем (ГИС), базы данных и модели прогнозирования для отслеживания состояния лесов, лесопользования и экологических рисков [2]. В частности, Ситуационный центр Минприроды России представляет собой организационно-технический комплекс, обеспечивающий мониторинг и поддержку управленческих решений в области природных ресурсов. Он располагает обширными информационными ресурсами и выполняет информационную поддержку решений на основе визуализации оперативных данных о состоянии лесов, их использовании и охране.

Ц е л ь р а б о т ы – провести сравнительный анализ принципов работы СЦ лесного хозяйства с точки зрения обработки больших данных, а также выполнить сравнительную оценку методов поддержки принятия решений.

В работе будут исследованы подходы к обработке больших данных в СЦ лесного хозяйства, проанализированы методы поддержки принятия решений и проведен сравнительный анализ вычислительной эффективности алгоритмов в условиях ограничений по времени и ресурсам.

Для лесного хозяйства важна интеграция данных со множества источников. Так, официально отмечено, что система Ситуационного центра Минприроды обеспечивает интеграцию информационных ресурсов нескольких десятков подведомственных информационных систем и внешних источников данных, формируя аналитические отчёты для руководителей. Одним из ключевых компонентов является система автоматического удалённого распознавания очагов лесных пожаров в заповедниках и национальных парках на основе данных космической съёмки. Эта система оперативно выявляет потенциальные очаги пожаров по спутниковым данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и в автоматическом режиме оповещает об этом ответственных лиц. Таким образом, современные лесные ситуационные центры могут использовать автоматизированные подсистемы обнаружения пожаров и аномалий в лесных массивах.

Ситуационный центр оснащён большими экранами и рабочими станциями для обработки геопространственных данных, что демонстрирует типовую инфраструктуру таких комплексов.

Основными задачами СЦ лесного хозяйства являются:

- мониторинг состояния лесного фонда;
- моделирование распространения возгораний или вредителей;
- экспертная оценка последствий инцидентов;
- оперативное управление ресурсами при чрезвычайных ситуациях (ЧС).

Методы обработки данных в лесном хозяйстве

Лесное хозяйство опирается на разнообразные методы обработки данных, чтобы решать задачи мониторинга и управления. При этом одним из главных направлений является интеграция ДЗЗ и ГИС. Технологии спутниковой съёмки, воздушной фотосъёмки и LiDAR позволяют регулярно получать данные о состоянии лесов в режиме, близком к реальному времени [3]. Эти данные служат для инвентаризации лесных массивов (определения количественных и качественных характеристик), оценки ущерба от пожаров, засух, наводнений или вредителей, а также для контроля незаконных вырубок леса. В частности, космический мониторинг используется для картографирования лесных территорий, выявления очагов пожаров и аномалий, оценки запасов древесины и биомассы, а также изучения негативных природных процессов (лесные болезни, заболачивание и др.). Например, среди решений лесного мониторинга называют систему «Лесохранитель» – крупнейшую в мире сеть видеодатчиков и камер наблюдения (более 3000 точек) для автоматического обнаружения лесных пожаров с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ) [4].

Кроме геоданных, активно применяются методы ИИ и машинного обучения. К ним относятся нейронные сети, деревья решений, нечёткие и экспертные системы, мультиагентные модели и др., позволяющие предсказывать динамику пожаров, оптимизировать маршруты их тушения и выявлять сложные зависимости в данных. В отчётах отмечается, что лесной сектор использует возможности больших данных и передовой аналитики: традиционные инвентаризации постепенно заменяются цифровыми решениями, а датчики и IoT-устройства собирают огромные объёмы данных о состоянии лесов. Алгоритмы машинного обучения обрабатывают эти данные для прогнозирования роста лесных насаждений, распространения вредителей, рисков пожаров и т. д. Все это способствует повышению эффективности и устойчивости лесохозяйственных операций. Таким образом, инструменты анализа больших данных (аналитические платформы, кластерные вычисления, облачные сервисы) становятся неотъемлемой частью так называемого лесного мониторинга.

Приведем *основные методы обработки данных, используемые для мониторинга состояния лесных ресурсов.*

Дистанционное зондирование и ГИС: сбор оптических, инфракрасных и радарных снимков с использованием спутников и беспилотников; создание тематических ортомозаик и цифровых моделей рельефа для картографирования лесных ресурсов.

Анализ больших данных и ИИ: применение машинного обучения (нейросети, случайные леса), методов глубокого обучения и интеллектуальных систем для классификации изображений, детектирования аномалий (пожары, вырубки) и прогнозирования параметров лесных ресурсов.

Многокритериальные методы (MAI, TOPSIS): принятие решений с учётом нескольких критериев (например, при выборе места высадки леса, приоритетов тушения пожара), используемые в экспертных системах и DSS. Эти методы позволяют ранжировать альтернативы по комплексным показателям.

Мультиагентные и экспертные системы: распределённые «умные» агенты для координации локальных датчиков и контроля, а также экспертные алгоритмы для работы в условиях неполной информации [5].

Геоаналитика и моделирование: интеграция полевых данных и статистики с результатами ДЗЗ через геопорталы; симуляция сценариев развития ЧС (модели распространения огня, ветровые модели) [6].

Проблемы больших данных в СЦ лесного хозяйства

Ситуационные центры лесного хозяйства работают с огромными и разнородными потоками информации: данные со спутников (многоспектральные и гиперспектральные снимки), с систем видеонаблюдения, сенсоров на земле (погодные станции, датчики дыма), а также результаты полевых учётов и статистики. При этом возникают определенные проблемы:

огромный объём данных: ежегодно генерируются петабайты геопространственных снимков и терабайты временных рядов;

высокая скорость поступления данных: например, данные метеоспутников или платинового созвездия RapidEye поставляются ежедневно, при этом требуется их обработка в реальном времени [7];

большое разнообразие источников данных: в этих условиях (различное разрешение, форматы, качество) предъявляются особые требования к унификации и конвертации.

В таких условиях необходимо использовать масштабируемые решения: распределённые вычислительные системы, облачные хранилища, графические процессоры для ускорения алгоритмов. При этом надо критично обеспечивать оперативность – вовремя идентифицировать угрозу лесопользованию и принять решения, не дожидаясь полного хранилища данных [8].

Поэтому внедряются методы предварительной фильтрации и агрегации данных (например, выделение зон с повышенной пожарной опасностью), адаптивная выборка (интенсивный сбор данных только в локальных «горячих точках») и параллельная обработка [9]. Для учёта больших данных в лесном секторе отмечено, что цифровые решения позволяют получать более точные и детальные сведения о лесных ресурсах. Вместе с тем остаются трудности: необходимость регулярного обновления картографической информации, проблемы интеграции разных баз (гидрометеослужбы, лесоустройство, противопожарные службы) и обеспечение достоверности данных (например, верификация сообщений об очагах пожаров) [10].

Иерархическая модель поддержки принятия решений

При управлении ситуациями в лесах (пожары, наводнения, вредители) часто ограничены ресурсы и время. В таких условиях целесообразно применять *иерархический подход* к выбору методов анализа и принятия решений. На верхнем уровне система оценивает текущий контекст: характеристики поступивших данных (точность, объём, скорость) и доступные ресурсы – время реакции t и вычислительную мощность G . Затем она выбирает наиболее подходящий метод анализа или классификации. Например, при критичном дефиците времени может быть предпочтителен быстрый эвристический метод, а при избыточном времени – более точный, но сложный.

Подобная идея автоматического выбора методов подробно описана в литературе. Рассмотрим подход, при котором по входной выборке данных вычисляются критерии, характеризующие неопределённость и свойства информации, а затем на основе нечетких правил и знаний система сама подбирает математические методы и алгоритмы, применимые в данной задаче. Этот подход обеспечивает гибкость ситуационного центра: он может адаптироваться к особенностям конкретной обстановки, выбирая, например, между методами дедуктивного (символьного) вывода или нейронными сетями в зависимости от полноты данных и требований к скорости.

В контексте пожарной охраны лесов такая иерархия означает, что до принятия окончательного решения (например, о распределении сил по тушению пожара) система сначала решает, какой алгоритм использовать – скоростной и менее точный или медленный и более детальный, – учитывая, например, срочность ситуации и количество критериев (площадь пожара, запас топлива, наличие средств).

Сравнение методов МАИ и TOPSIS

В рамках исследования проведён сравнительный анализ вычислительной эффективности двух методов многокритериальной оценки альтернатив:

- 1) метода анализа иерархий (МАИ);
- 2) метода взвешенных расстояний TOPSIS.

Был проведен эксперимент, целью которого являлось определение зависимости времени выполнения алгоритмов и требуемой оперативной памяти от числа оцениваемых критериев N . Это позволяет сформировать рекомендации по выбору метода в условиях ограниченных вычислительных ресурсов ситуационных центров. Эксперимент выполнен с использованием языка Python и библиотеки NumPy. Для каждого значения N осуществлялась серия запусков (1 повторений), по результатам которых вычислялись среднее время выполнения $T(N)$ и показатели использования памяти $G(N)$ (текущие и пиковые значения).

Полученные результаты показали существенное различие в масштабируемости методов. Для МАИ наблюдается выраженный рост времени выполнения алгоритмов при увеличении числа критериев, что обусловлено квадратичной сложностью формирования матриц попарных сравнений размерности $N \times N$. На рис. 1 графическая зависимость $T(N)$ для МАИ носит нелинейный характер, причём начиная с области $N \geq 12$ наблюдаются резкие увеличения длительности отдельных вычислительных циклов, что указывает на высокую чувствительность метода к росту размерности задачи.

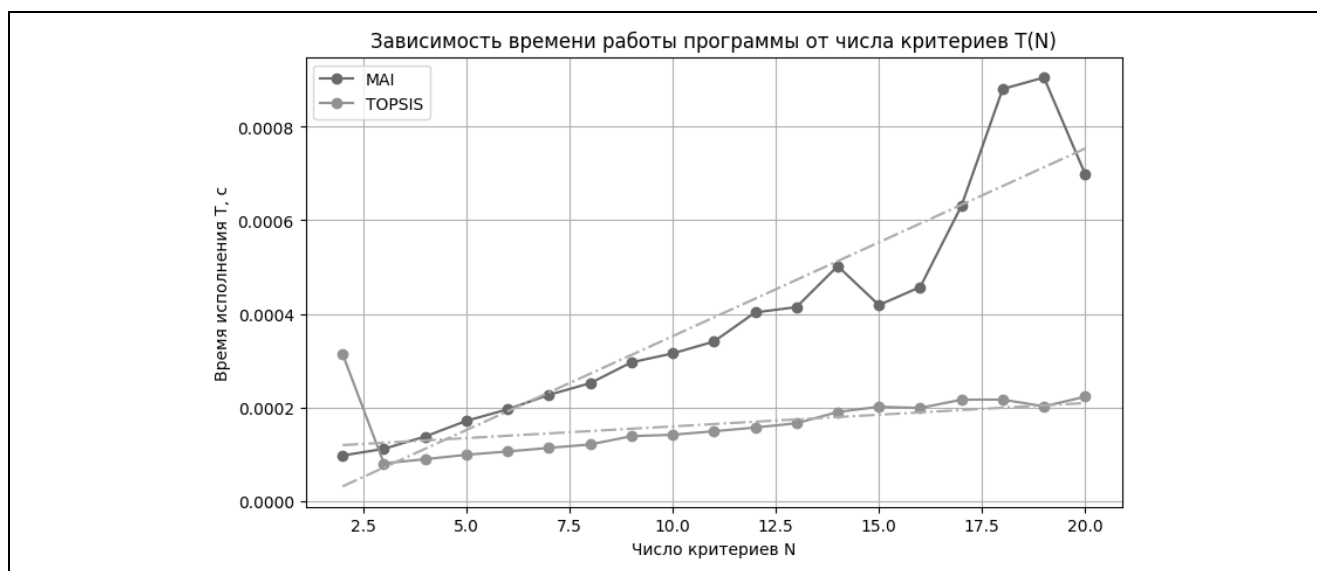


Рис. 1. Графики зависимости времени работы программы от числа критериев $T(N)$

Fig. 1. Dependence of program runtime on the number of criteria $T(N)$

Выполнение алгоритмов с использованием TOPSIS, напротив, демонстрирует почти линейную зависимость от числа критериев. Это объясняется тем, что TOPSIS основан на нормировании и линейных преобразованиях исходной матрицы данных, а количество операций растёт пропорционально N . Экспериментальные данные показывают, что во всём рассматриваемом диапазоне TOPSIS превосходит МАИ по скорости вычислений в 3–5 раз.

Анализ графиков зависимости использования требуемой оперативной памяти от числа критериев (рис. 2) показывает, что метод МАИ характеризуется существенно меньшим объёмом требуемой памяти по сравнению с TOPSIS. Средние и пиковые значения $G(N)$ для МАИ растут медленно и остаются в пределах малых величин благодаря компактности используемых структур данных.

Метод TOPSIS, напротив, требует большего объёма памяти, что связано с необходимостью хранения нормированной матрицы и нескольких промежуточных массивов. Тем не менее рост требуемой памяти $G(N)$ также является близким к линейной зависимости и остаётся на уровне, не представляющем практического ограничения для современных вычислительных систем СЦ, (порядка десятков килобайт).

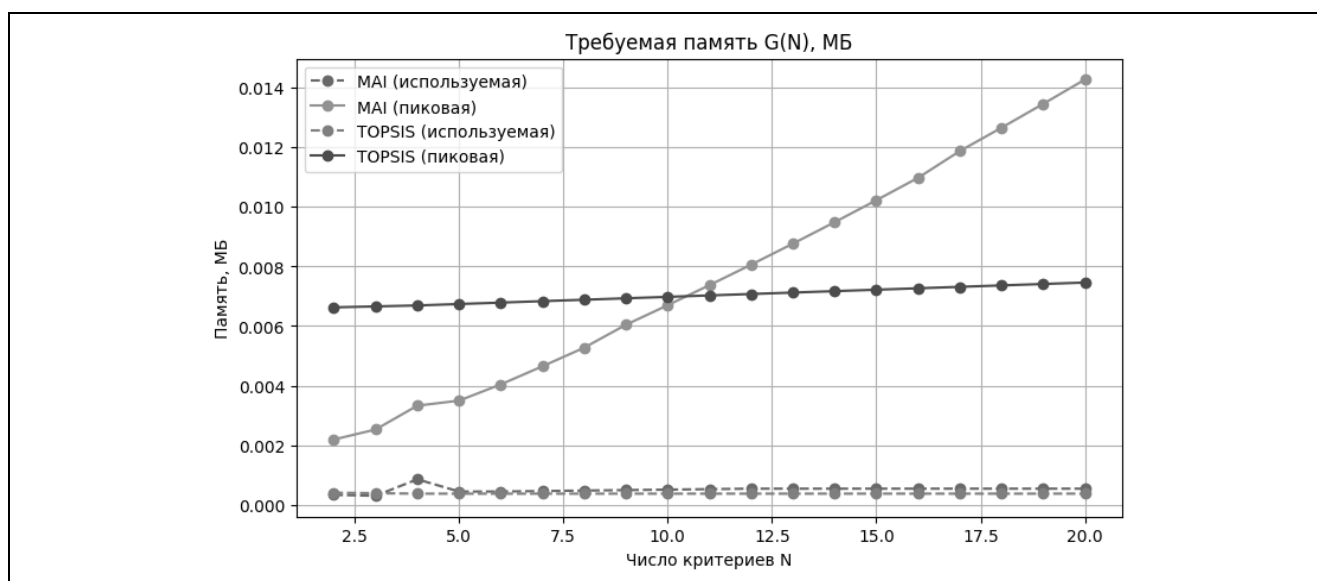


Рис. 2. Графики зависимости требуемой памяти $G(N)$ от числа критериев

Fig. 2. Required memory $G(N)$

Проведённый анализ демонстрирует, что методы МАИ и TOPSIS обладают принципиально различными вычислительными характеристиками. МАИ предоставляет выраженные преимущества в интерпретируемости и экспертно-ориентированности, однако его вычислительная сложность делает метод менее подходящим для задач, требующих оперативной обработки данных при большом числе критериев. Метод TOPSIS, напротив, обеспечивает высокую скорость и устойчивое масштабирование, что делает его предпочтительным для систем реального времени и больших массивов данных.

Таким образом, выбор метода конечных объемов в СЦ должен основываться на соотношении требований к оперативности расчётов и к доступным вычислительным ресурсам. Метод TOPSIS представляет собой эффективное решение для высокоразмерных задач и сценариев, предполагающих многократные перерасчёты, тогда как МАИ остаётся целесообразным для задач, в которых ключевую роль играет участие экспертов и необходимо построение прозрачной иерархической структуры критериев.

Заключение

Ситуационные центры лесного хозяйства представляют собой сложные интеллектуальные системы, интегрирующие большие объёмы пространственно-временных данных для поддержки оперативного управления лесными ресурсами, тушения пожаров и ликвидации ЧС. Главными компонентами таких центров являются геоинформационные платформы, системы ДЗЗ, а также алгоритмы анализа больших данных и ИИ. Российский опыт (ИСДМ-Рослесхоз, система «Лесохранитель» и др.) показывает, что большое внимание уделяется прогнозированию пожарной опасности, обновлению картографической информации и модернизации технологий детектирования пожаров [11–19]. В то же время в мировой практике (например, инициативы типа Global Forest Watch) отмечается тренд на открытый доступ к спутниковым данным и инструментам аналитики, что усиливает возможности лесного мониторинга.

Для эффективной работы в условиях больших данных необходимо использовать иерархические модели поддержки принятия решений, которые выбирают оптимальный метод обработки с учётом срочности задачи и вычислительных ресурсов. По мере роста объёмов данных становится всё более актуальным внедрение распределённых вычислений, облачных сервисов и продвинутой аналитики. Будущее лесной информатики связано с объединением данных разных ведомств и государств, применением машинного обучения для прогнозов экосистемных изменений и развитием «умных» систем, способных анализировать сложные ситуации в реальном времени.

Таким образом, подход с использованием мощных вычислительных методов и интеграцией разнородных данных открывает новые возможности для устойчивого управления лесными ресурсами.

Список источников

1. Ситуационные центры [Электронный ресурс] // Совзонд. URL: <https://sovzond.ru/services/situational-centers/> (дата обращения: 20.09.2025).
2. Ситуационный центр Минприроды аккумулирует информацию нескольких десятков подведомственных ИС [Электронный ресурс] // Connect WIT 2022. URL: <https://www.connect-wit.ru/situatsionnyj-tsentr-minprirody-akkumuliruet-informatsiyu-neskolkih-desyatkov-podvedomstvennyh-is.html> (дата обращения: 20.09.2025).
3. UNECE. Тенденции цифровизации лесного сектора [Электронный ресурс]. land.unece.org, 2023. URL: <https://land.unece.org/forests/ru/knowledge-hub/forest-information-systems/trends-digitalization-forest-sector> (дата обращения: 20.09.2025).
4. «Лесохранитель». Система дистанционного мониторинга и управления [Электронный ресурс]. lesokhranitel.ru, 2025. URL: <https://lesokhranitel.ru/> (дата обращения: 20.09.2025).
5. Симанков В.С., Теплоухов С.В. Интеллектуализация ситуационного центра путем подбора методов и алгоритмов ИИ с учётом неопределённости исходной информации [Электронный ресурс] // Вестник Адыгейского гос. ун-та. Сер. 4: Естественно-матем. и техн. науки, № 1, 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-situatsionnogo-tsentra-putem-podbor-a-metodov-i-algoritmov-iskusstvennogo-intellekta-s-uchetom-neopredelennosti> (дата обращения: 20.09.2025).
6. Автоматизированная информационная система «Авиалесоохрана» [Электронный ресурс]. ФБУ «Авиалесоохрана». URL: <https://aviales.ru/default.aspx?textpage=117> (дата обращения: 20.09.2025).
7. Gao W., Qiu Q., Yuan C. Forestry Big Data: A Review and Bibliometric Analysis [Электронный ресурс]. Forests. 2022. DOI: 10.3390/f13101549 (дата обращения: 20.09.2025).
8. Vagizov M. et al. Visual Digital Forest Model Based on Remote Sensing Data and Forest Inventory Data. Remote Sensing. 2021. DOI: 10.3390/rs13204092
9. Nguyen D. et al. PRISM: A decision support system for forest planning. Computers & Electronics in Agriculture, 2022. DOI: /10.1016/j.envsoft.2022.105515
10. Yadav N. et al. Decision Support Systems in Forestry and Tree-Planting. MDPI. 2024. <https://doi.org/10.3390/land13020230>
11. Кочкаров Р.А., Чиров Д.С., Тимошенко А.В., Казанцев А.М. Модель пространственно-распределенной информационной системы непрерывного мониторинга с предфрактальной динамической структурой в условиях воздействия дестабилизирующих факторов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Т. 19. № 1. С. 4–12. DOI: 10.36724/2072-8735-2025-19-1-4-12 (дата обращения: 20.09.2025).
12. Кочкаров Р.А., Балдычев М.Т., Казанцев А.М. и др. Алгоритм оценки структурно-функциональной устойчивости и целостности гетерогенной сети передачи данных пространственно-распределенной системы мониторинга // Труды МАИ. 2024. № 137. EDN: IJZRAI.
13. Шевцов В.А., Казанцев А.М., Тимошенко А.В. и др. Показатель структурной эффективности управления информационным взаимодействием в гетерогенной сети передачи данных пространственно-распределенной системы мониторинга // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2024. Т. 20. № 2. С. 124–131. DOI: 10.36622/1729-6501.2024.20.2.019 (дата обращения: 20.09.2025).
14. Шевнина Ю.С., Рябов П.Е., Прокопчина С.В., Кочкаров Р.А. Подходы к прогнозированию изменения состояния обеспечивающих компонентов информационно-управляющей системы // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2(45). DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.023 (дата обращения: 20.09.2025).
15. Кочкаров Р.А., Кочкаров А.А. Теоретико-графовый алгоритм динамического назначения средств системы непрерывного мониторинга // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77. № 9. С. 44–50. DOI: 10.18127/j20700784-202309-05 (дата обращения: 20.09.2025).
16. Тимошенко А.В., Кочкаров Р.А., Кочкаров А.А. Выделение условий разрешимости NP-полных задач для класса предфрактальных графов // Моделирование и анализ информационных систем. 2021. Т. 28, № 2. С. 126–135. DOI: 10.18255/1818-1015-2021-2-126-135 (дата обращения: 20.09.2025).
17. Казанцев А.М., Кочкаров Р.А., Тимошенко А.В., Сычугов А.А. Некоторые подходы к оценке процесса функционирования структурно-динамических систем мониторинга в условиях внешних воздействий // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. Т. 9. № 4(35). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.005 (дата обращения: 20.09.2025).
18. Кочкаров А.А., Яцкин Д.В., Кочкаров Р.А. Применение методов теории просачиваемости для решения задач потокового планирования в транспортных сетях с учетом их структурной динамики // Теоретическая и прикладная экономика. 2021. № 1. С. 13–20. DOI: 10.25136/2409-8647.2021.1.34965 (дата обращения: 20.09.2025).
19. Chernoritskii S.S., Gushan N.Y., Khuranova K.M. Assessment of tree biomass using remote sensing techniques: validation at the territory of the 'forest lake' educational and recreational complex. Environmental Studies and Protection Issues – 2024: Proceedings of the International Youth Scientific and Academic Conference, Moscow, April 19, 2024. M.: RUDN University, 2024. P. 74–81.

Информация об авторе

Наталья Юрьевна Гушан – аспирант

SPIN-код: не представлен

Статья поступила в редакцию 16.10.2025

Одобрена после рецензирования 24.10.2025

Принята к публикации 30.10.2025

Original article

Forestry situation centers: data processing and big data challenges

N.Yu. Gushan¹¹ Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russia)¹ 249351@edu.fa.ru

Abstract

Modern forestry faces the need to process huge amounts of spatio-temporal data coming from various sources: satellites, sensors, video surveillance. This creates challenges related to scalability, response speed, and information reliability when monitoring forest fires, logging, and other emergencies.

The objective of the study is to analyze the principles of operation of situation centers in forestry from the perspective of big data processing, as well as to conduct a comparative assessment of decision support methods.

The article examines the architecture and tasks of forest situation centers, provides examples of Russian and international implementations, and describes a hierarchical decision support model that takes computational constraints into account. A comparative analysis of multi-criteria evaluation methods (AHP and TOPSIS) in terms of computational efficiency under different conditions was conducted.

The conclusions and recommendations presented in this work can be used in the design and modernization of forestry situation centers, the selection of analytical methods in conditions of limited resources, and the integration of AI into environmental digital platforms.

Keywords

Situation center, forestry, geoinformatics, remote sensing, big data, multi-criteria analysis, AI

For citation

Gushan N.Yu. Forestry situation centers: data processing and big data challenges. *Neurocomputers*. 2025. V. 27. № 6. P. 88–95. DOI: 10.18127/j19997493-202506-09 (in Russian).

References

1. Situacionny`e centry` [E`lektronny`j resurs]. Sovzond. URL: <https://sovzond.ru/services/situational-centers/> (data obrashheniya: 20.09.2025).
2. Situacionny`j centr Minprirody` akkumuliruet informaciyu neskol`kix desyatkov podvedomstvenny`x IS [E`lektronny`j resurs]. Connect WIT 2022. URL: <https://www.connect-wit.ru/situatsionnyj-tsentr-minprirody-akkumuliruet-informatsiyu-neskolkih-desyatkov-podvedomstvennyh-is.html> (data obrashheniya: 20.09.2025).
3. UNECE. Tendencii cifrovizacii lesnogo sektora [E`lektronny`j resurs]. land.unece.org, 2023. URL: <https://land.unece.org/forests/ru/knowledge-hub/forest-information-systems/trends-digitalization-forest-sector> (data obrashheniya: 20.09.2025).
4. «Lesoxranitel`». Sistema distancionnogo monitoringa i upravleniya [E`lektronny`j resurs]. lesokhranitel.ru, 2025. URL: <https://lesokhranitel.ru/> (data obrashheniya: 20.09.2025).
5. Simankov V.S., Teplouxov S.V. Intellectualizatsiya situacionnogo centra putem podbora metodov i algoritmov II s uchytom neopredelyonnosti iskhodnoj informacii [E`lektronny`j resurs]. Vestnik Ady`gejskogo gos. un-ta. Ser. 4: Estestvenno-matem. i texn. nauki, № 1. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-situatsionnogo-tsentra-putem-podbora-metodov-i-algoritmov-iskusstvennogo-intellekta-s-uchetom-neopredelenosti> (data obrashheniya: 20.09.2025).
6. Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema «Avialesooxrana» [E`lektronny`j resurs]. FBU «Avialesooxrana». URL: <https://aviales.ru/default.aspx?textpage=117> (data obrashheniya: 20.09.2025).
7. Gao W., Qiu Q., Yuan C. Forestry Big Data: A Review and Bibliometric Analysis [E`lektronny`j resurs]. Forests. 2022. DOI: 10.3390/f13101549 (data obrashheniya: 20.09.2025).
8. Vagizov M. et al. Visual Digital Forest Model Based on Remote Sensing Data and Forest Inventory Data. Remote Sensing. 2021. DOI: 10.3390/rs13204092
9. Nguyen D. et al. PRISM: A decision support system for forest planning. Computers & Electronics in Agriculture, 2022. DOI: /10.1016/j.envsoft.2022.105515
10. Yadav N. et al. Decision Support Systems in Forestry and Tree-Planting. MDPI. 2024. <https://doi.org/10.3390/land13020230>
11. Kochkarov R.A., Chirov D.S., Timoshenko A.V., Kazancev A.M. Model` prostranstvenno-raspredelennoj informacionnoj sistemy` nepre`vno monitoringa s predfraktal`noj dinameskoj strukturoj v usloviyax vozdejstviya destabiliziruyushhix faktorov. T-Comm: Telekommunikacii i transport. 2025. T. 19. № 1. S. 4–12. DOI: 10.36724/2072-8735-2025-19-1-4-12 (data obrashheniya: 20.09.2025).
12. Kochkarov R.A., Baldy`chev M.T., Kazancev A.M. i dr. Algoritm ocenki strukturno-funkcional`noj ustojchivosti i celostnosti geterogennoj seti peredachi danny`x prostranstvenno-raspredelennoj sistemy` monitoring. Trudy` MAI. 2024. № 137. EDN: IJZRAI.
13. Shevczov V.A., Kazancev A.M., Timoshenko A.V. i dr. Pokazatel` strukturnoj e`ffektivnosti upravleniya informacionny`m vzaimodejstviem v geterogennoj seti peredachi danny`x prostranstvenno-raspredelennoj sistemy` monitoring. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2024. T. 20. № 2. S. 124–131. DOI: 10.36622/1729-6501.2024. 20.2.019 (data obrashheniya: 20.09.2025).
14. Shevnina Yu.S., Ryabov P.E., Prokopchina S.V., Kochkarov R.A. Podxody` k prognozirovaniyu izmeneniya sostoyaniya obespechivayushhix komponentov informacionno-upravlyayushhej sistemy`. Modelirovanie, optimizatsiya i informacionny`e tehnologii. 2024. T. 12. № 2(45). DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.023 (data obrashheniya: 20.09.2025).
15. Kochkarov R.A., Kochkarov A.A. Teoretiko-grafovy`j algoritm dinameskogo naznacheniya sredstv sistemy` nepre`vno monitoringa. Uspexi sovremennoj radioe`lektroniki. 2023. T. 77. № 9. S. 44–50. DOI: 10.18127/j20700784-202309-05 (data obrashheniya: 20.09.2025).

16. *Timoshenko A.V., Kochkarov R.A., Kochkarov A.A.* Vy`delenie uslovij razreshimosti NP-polny`x zadach dlya klassa predfraktal`ny`x grafov. Modelirovanie i analiz informacionny`x sistem. 2021. T. 28, № 2. S. 126-135. DOI: 10.18255/1818-1015-2021-2-126-135 (data obrashheniya: 20.09.2025).
17. *Kazancev A.M., Kochkarov R.A., Timoshenko A.V., Sy`chugov A.A.* Nekotory`e podxody` k ocenke processa funkcionirovaniya strukturno-dinamicheskix sistem monitoringa v usloviyax vneshnix vozdeystvij. Modelirovanie, optimizaciya i informacionny`e tehnologii. 2021. T. 9. № 4(35). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.005 (data obrashheniya: 20.09.2025).
18. *Kochkarov A.A., Yaczkina D.V., Kochkarov R.A.* Primenenie metodov teorii prosachivaemosti dlya resheniya zadach potokovogo planirovaniya v transportny`x setyax s ucheto`m ix strukturnoj dinamiki. Teoreticheskaya i prikladnaya e`konomika. 2021. № 1. S. 13–20. DOI: 10.25136/2409-8647.2021.1.34965 (data obrashheniya: 20.09.2025).
19. *Chernoritskii S.S., Gushan N.Y., Khuranova K.M.* Assessment of tree biomass using remote sensing techniques: validation at the territory of the forest lake educational and recreational complex. Environmental Studies and Protection Issues – 2024: Proceedings of the International Youth Scientific and Academic Conference, Moscow, April 19, 2024. M.: RUDN University, 2024. P. 74–81.

Information about the author

Natalia Yu. Gushan – Post-graduate Student

The article was submitted 16.10.2025

Approved after reviewing 24.10.2025

Accepted for publication 30.10.2025