



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.67

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

¹Полежаева М.В., ²Кенжина Д.С., ³Аксёнова К.В., ⁴Сафонова Т.В., ⁵Мокряк А.В.
ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ" Санкт-Петербург, Россия (192007, город Санкт-Петербург, Воронежская
ул., д. 79) e-mail: ¹kolezei21@gmail.com, ²diana.kenzhina@yandex.ru, ³kseniaaksenova@inbox.ru,
⁴tatyana.vsafonova@gmail.com

⁵ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ
ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ ИМЕНИ ГЕРОЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГЕНЕРАЛА АРМИИ Е.Н.ЗИНИЧЕВА", Санкт-Петербург, Россия (196105, г. Санкт-
Петербург, Московский проспект, д.149), e-mail: mokryakanna@mail.ru

Статья посвящена автоматизации процессов обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), что является важной задачей в условиях увеличения объемов и сложности данных. Рассматриваются современные подходы, включая применение алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для классификации, сегментации и интерпретации пространственных данных. Особое внимание уделено использованию облачных вычислений и специализированных платформ, таких как Google Earth Engine и ArcGIS, для оптимизации обработки больших массивов данных. Описаны практические примеры, демонстрирующие эффективность автоматизации в задачах мониторинга земного покрова, анализа экологических изменений, управления сельским хозяйством и исследования урбанизации. Анализируются ограничения существующих методов, включая зависимость от вычислительных ресурсов и доступ к данным. В статье также обсуждаются перспективы внедрения новых технологий, таких как квантовые вычисления и расширенные возможности искусственного интеллекта, для повышения точности и оперативности обработки данных ДЗЗ.

Ключевые слова: Автоматизация, дистанционное зондирование Земли, обработка данных, анализ данных, машинное обучение, искусственный интеллект, облачные вычисления, мониторинг, урбанизация, экология.

THE AUTOMATION OF EARTH REMOTE SENSING DATA PROCESSING AND ANALYSIS

¹Polezhaeva M.V., ²Kenzhina D.S., ³Aksenova K.V., ⁴Safonova T.V., ⁵Mokryak A.V.
RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY, St. Petersburg, Russia (192007, St.
Petersburg, Voronezhskaya str., 79), e-mail: ¹kolezei21@gmail.com, ²diana.kenzhina@yandex.ru,
³kseniaaksenova@inbox.ru, ⁴tatyana.vsafonova@gmail.com

⁵ST. PETERSBURG UNIVERSITY OF THE STATE FIRE SERVICE OF THE MINISTRY OF THE
RUSSIAN FEDERATION FOR CIVIL DEFENSE, EMERGENCIES AND ELIMINATION OF
CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS NAMED AFTER THE HERO OF THE RUSSIAN
FEDERATION, GENERAL OF THE ARMY E.N. ZINICHEV, St. Petersburg, Russia (196105, St.
Petersburg, Moskovsky prospekt, 149), e-mail: ¹mokryakanna@mail.ru

The article focuses on the automation of Earth remote sensing (ERS) data processing and analysis, addressing the growing volume and complexity of such data. Modern approaches are examined, including the application of

machine learning and artificial intelligence algorithms for classification, segmentation, and interpretation of geospatial data. Special attention is given to cloud computing and specialized platforms such as Google Earth Engine and ArcGIS to optimize large-scale data processing. Practical examples highlight the effectiveness of automation in tasks such as land cover monitoring, environmental change analysis, agricultural management, and urbanization studies. The study analyzes the limitations of existing methods, including reliance on computational resources and data accessibility. Furthermore, the article explores the prospects of emerging technologies, such as quantum computing and advanced artificial intelligence capabilities, to enhance the accuracy and efficiency of ERS data processing

Keywords: Automation, Earth remote sensing, data processing, data analysis, machine learning, artificial intelligence, cloud computing, monitoring, urbanization, ecology.

Введение

Автоматизация обработки данных дистанционного зондирования Земли являются основой в развитии технологий анализа больших объемов информации, получаемой со спутников и других удаленных источников. Сегодня данные ДЗЗ применяются в самых различных областях: от сельского хозяйства до экологического мониторинга и оценки последствий стихийных бедствий. При этом объем информации, доступный пользователям, увеличивается в геометрической прогрессии благодаря развитию технологий наблюдения, росту разрешения спутниковых снимков и улучшению сенсорных систем. Однако большой объем данных делает невозможным их обработку и анализ вручную, что и обуславливает необходимость автоматизации.

Автоматизация процессов обработки данных ДЗЗ актуальна не только из-за возрастающих объемов информации, но и в связи с ростом требований к оперативности анализа. Например, в условиях природных катастроф, таких как наводнения, лесные пожары или землетрясения, необходимо максимально быстро обработать данные, чтобы предоставить спасательным службам актуальную информацию. Кроме того, автоматизация снижает вероятность ошибок, вызванных человеческим фактором, и повышает точность анализа.

Данные дистанционного зондирования Земли решают множество задач. Они включают мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий, оценку состояния лесов, анализ городских территорий, прогнозирование климатических изменений и многое другое. Например, данные гиперспектральной съемки используются для определения состава почвы или оценки состояния растительности, а радарные данные помогают отслеживать деформации земной поверхности. Использование современных методов анализа, включая алгоритмы машинного обучения и нейронные сети, существенно расширяет возможности обработки данных ДЗЗ, делая их более доступными для конечных пользователей.

Цель настоящего исследования заключается в анализе современных подходов к автоматизации процессов обработки данных дистанционного зондирования Земли и выявлении перспектив их развития. В рамках исследования поставлены следующие задачи: изучить ключевые методы и технологии автоматизации, рассмотреть примеры их применения в различных сферах, а также выявить проблемы и ограничения, с которыми сталкиваются специалисты в данной области [1, 2]. Ожидается, что результаты исследования позволят лучше понять роль автоматизации в современных условиях и обозначить перспективы ее дальнейшего развития.

Теоретические основы дистанционного зондирования Земли

ДЗЗ является важной технологией, обеспечивающей сбор, обработку и анализ данных о состоянии земной поверхности, атмосферы и океанов. Основной принцип ДЗЗ заключается в наблюдении за объектами и процессами на расстоянии, без их физического контакта, с помощью сенсоров, установленных на спутниках, беспилотных летательных аппаратах, воздушных шарах и наземных устройствах [3]. Эти данные используются для решения широкого спектра задач, включая мониторинг изменения земельного покрова, прогнозирование климатических изменений, управление природными ресурсами, предотвращение и оценку ущерба от чрезвычайных ситуаций.

ДЗЗ основывается на физическом явлении взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, отражённым или излучённым объектами земной поверхности. Сенсоры фиксируют характеристики излучения, такие как интенсивность и длина волны, что позволяет извлекать уникальную информацию о свойствах объектов [4]. Например, вегетация имеет характерные спектральные особенности, которые позволяют оценивать её состояние, плотность и уровень стресса, вызванного погодными условиями или деятельностью человека.

Преимуществом ДЗЗ является возможность получения данных с глобальным охватом, что делает технологию незаменимой для исследований в масштабах всего земного шара. Кроме того, регулярная съёмка одних и тех же областей позволяет фиксировать изменения во времени, формируя основу для временного анализа, что помогает в мониторинге климатических изменений, урбанизации, лесных пожаров и деградации почв [5, 6].

Данные ДЗЗ классифицируются по типам сенсоров, используемым для их получения, что определяет их применение в различных областях. Оптические данные собираются в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Они имеют высокое пространственное разрешение и широко применяются для картографирования, сельского хозяйства, анализа растительности и изучения изменений ландшафта. Однако оптические сенсоры зависят от погодных условий и дневного времени суток, а это ограничивает их применение [7].

Радарные данные же, наоборот, получают с помощью активных сенсоров, работающих в радиодиапазоне, что позволяет проводить съёмку независимо от времени суток и облачности. Эти данные важны для мониторинга влажности почвы, динамики ледников, лесных массивов и водных объектов. Радарные изображения дают возможность анализа текстуры и структуры поверхности, что помогает в областях гидрологии и геологии.

Гиперспектральные данные - наиболее информативный вид данных ДЗЗ, поскольку фиксируют отражение в десятках или даже сотнях узких спектральных диапазонов [6]. С помощью этих данных идентифицируют химический состав объектов, а также обнаруживают тонкие изменения в состоянии растительности, воды или почвы. Применение гиперспектральных данных актуально для задач экологического мониторинга, геологии и сельского хозяйства, где требуется высокая точность и детальность.

Обработка данных ДЗЗ — сложный многоэтапный процесс. На этапе предобработки выполняются радиометрическая, атмосферная и геометрическая коррекции, необходимые для устранения искажений, вызванных особенностями сенсоров и среды, что обеспечивает сопоставимость данных, собранных в разное время и различными платформами. Основная обработка включает спектральный анализ, классификацию, сегментацию объектов и вычисление индексов (например, NDVI для растительности). В результате обработки

формируются тематические карты, временные ряды или другие аналитические продукты, которые интерпретируются специалистами для решения конкретных задач [2].

Таким образом, теоретические основы ДЗЗ состоят из физических, математических и вычислительных подходов, которые обеспечивают эффективное получение и анализ данных о земной поверхности. Благодаря постоянному развитию технологий, автоматизации и интеграции искусственного интеллекта, возможности ДЗЗ расширяются.

Методы автоматизации обработки данных

Автоматизация обработки данных ДЗЗ направлена на повышение эффективности и точности анализа информации, поступающей с множества спутников и других сенсоров. Использование автоматизированных подходов позволяет обрабатывать огромные массивы данных, адаптироваться к различным условиям съёмки и оперативно предоставлять результаты пользователям. Среди основных методов автоматизации выделяются применение алгоритмов машинного обучения, использование облачных платформ и разработка методов классификации и сегментации.

Алгоритмы машинного обучения для автоматизации обработки данных дистанционного зондирования Земли позволяют анализировать как структурированные, так и неструктурированные данные, обнаруживая закономерности и зависимости, которые трудно выявить с помощью традиционных методов. Машинное обучение находит применение в классификации объектов на спутниковых снимках, прогнозировании изменений ландшафта и анализе временных рядов. Так, алгоритмы глубокого обучения, такие как свёрточные нейронные сети (CNN), эффективно распознают объекты, включая здания, водоёмы и лесные массивы. Они способны обрабатывать изображения с высоким разрешением, принимая во внимание их текстурные и спектральные особенности, что делает их незаменимыми в задачах мониторинга урбанизации или идентификации сельскохозяйственных культур [1].

Использование облачных платформ для автоматизированной обработки данных благодаря их способности справляться с большими объемами информации и обеспечивать доступ к мощным вычислительным ресурсам становится всё более востребованным. Платформа Google Earth Engine, предоставляет инструменты для хранения, обработки и визуализации данных ДЗЗ в масштабах всей планеты. GEE позволяет пользователям работать с обширными архивами спутниковых снимков, такими как данные Landsat и Sentinel, и применять к ним сложные алгоритмы, включая классификацию, сегментацию и анализ временных рядов. Преимуществом облачных решений является возможность параллельной обработки данных, что существенно сокращает время выполнения задач и делает их доступными для пользователей с ограниченными локальными ресурсами [5].

Классификация данных, основанная на автоматизированных алгоритмах, позволяет разделять объекты на изображения по заранее определённым категориям, таким как леса, водоёмы, урбанизированные зоны и сельскохозяйственные угодья [8, 9]. Простейшие методы, такие как классификация на основе порогов, постепенно уступают место более сложным подходам, включающим методы машинного обучения, такие как деревья решений, случайные леса и нейронные сети. Сегментация же направлена на выделение гомогенных областей на изображении, что важно для анализа пространственного распределения объектов. Современные алгоритмы, такие как U-Net, позволяют достигать высокой точности

сегментации, особенно в задачах, связанных с гиперспектральными данными, где точность анализа спектральных характеристик играет решающую роль.

Объединение всех упомянутых методов формирует всесторонний подход к автоматизации обработки данных ДЗЗ. Современные средства и технологии способны не только увеличить скорость обработки данных, но и значительно повысить её качество, что крайне важно для задач мониторинга, прогнозирования и управления природными ресурсами. Хотя в этой сфере уже достигнуты значительные успехи, остаются нерешённые задачи, касающиеся необходимости совершенствования алгоритмов обработки, повышения их интерпретируемости и сокращения вычислительных расходов. Данные аспекты задают направление для дальнейшего развития методов автоматизации обработки данных ДЗЗ.

Технологии автоматизации анализа данных

Технологии автоматизации анализа данных ДЗЗ — это сочетание вычислительных методов, специализированного программного обеспечения и облачных решений, которые позволяют оптимизировать процесс обработки и интерпретации больших объемов данных. Представленные технологии предлагают исследователям и практикам инструменты для быстрого и точного извлечения ценной информации, что особенно важно в условиях растущего объема данных и необходимости оперативного реагирования на глобальные вызовы, такие как изменение климата, урбанизация и управление природными ресурсами.

Одним из компонентов современных технологий автоматизации являются облачные вычисления. Облачные платформы, такие как Google Earth Engine (GEE), Amazon Web Services (AWS) и Microsoft Azure, предоставляют доступ к мощным вычислительным ресурсам и масштабируемому хранилищу данных, что делает возможным анализ данных ДЗЗ в глобальном масштабе. Облачные вычисления способствуют значительному сокращению времени, необходимого для обработки данных, благодаря параллельной обработке и доступу к предварительно обработанным данным [8]. Например, Google Earth Engine позволяет выполнять сложные операции, такие как вычисление индексов растительности (NDVI, SAVI) или анализ временных рядов, в реальном времени, предоставляя пользователю интерфейс для написания и исполнения кода непосредственно на сервере. Это важно для анализа больших данных, поступающих от современных спутников, таких как Sentinel-2 и Landsat-8, которые обеспечивают высокое пространственное и временное разрешение.

Программные платформы также важны в автоматизации анализа данных. Среди наиболее популярных решений можно выделить ArcGIS, ENVI и QGIS. ArcGIS предоставляет инструменты для обработки геопространственных данных, их анализа и визуализации, включая модели машинного обучения для классификации земельного покрова и обнаружения изменений. ENVI специализируется на обработке гиперспектральных и мультиспектральных данных, предлагая алгоритмы для анализа спектральных характеристик объектов, что важно для точной идентификации и мониторинга растительности, водных объектов и почв. QGIS, как инструмент с открытым исходным кодом, обеспечивает доступность широкого набора плагинов, включая инструменты для интеграции данных ДЗЗ с другими источниками информации, такими как кадастровые данные или климатические модели.

Искусственный интеллект и нейронные сети очень практичны в современных технологиях анализа данных ДЗЗ. Применение глубокого обучения позволяет автоматически

выделять объекты на спутниковых изображениях, проводить классификацию и сегментацию земельного покрова, а также обнаруживать аномалии [7]. Например, свёрточные нейронные сети (CNN) используются для распознавания зданий, дорог и растительности на высокоразрешённых изображениях. Рекуррентные нейронные сети (RNN) находят применение в анализе временных рядов, что помогает в мониторинге изменений в растительности или ледниках. Одним из успешных примеров является использование нейронных сетей для выявления лесных пожаров на основе данных термического излучения, что позволяет оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации.

Современные технологии предусматривают интеграцию данных ДЗЗ с другими источниками информации, такими как геолокационные данные, климатические модели и социально-экономические показатели [9, 10]. Это достигается благодаря использованию единого аналитического пространства, предоставляемого платформами, такими как GEE, где данные из разных источников могут быть совместно обработаны для создания комплексных моделей и прогностических сценариев. Интеграция различных типов данных повышает точность анализа и позволяет учитывать большее количество факторов, влияющих на изучаемые явления.

Развитие технологий автоматизации анализа данных ДЗЗ открывает новые перспективы для различных областей применения. В сельском хозяйстве автоматизация позволяет осуществлять мониторинг посевов, прогнозировать урожайность и определять зоны стресса культур с высокой степенью точности [8]. В экологическом мониторинге технологии помогают оценивать состояние лесов, водных объектов и экосистем в режиме реального времени. Урбанистика и управление городами выигрывают от использования автоматизированных решений для анализа городской застройки, дорожной инфраструктуры и планирования пространственного развития.

Подводя итог, можно сделать вывод, что технологии автоматизации анализа данных ДЗЗ — мощный инструмент для решения современных задач в различных областях науки и практики. Их дальнейшее развитие, в частности интеграция с искусственным интеллектом и расширение возможностей облачных платформ, обещает ещё большее повышение эффективности и доступности анализа данных, что будет способствовать решению глобальных вызовов и улучшению качества жизни.

Примеры применения автоматизации

Автоматизация обработки данных ДЗЗ активно используется для решения множества прикладных задач в различных отраслях. Реальные кейсы подтверждают высокую эффективность технологий в мониторинге окружающей среды, сельском хозяйстве, управлении городами и анализе последствий стихийных бедствий. Рассмотрим конкретные примеры, иллюстрирующие достижения в этой области.

В рамках программы REDD+ (сокращение выбросов от обезлесения и деградации лесов), реализуемой ООН, автоматизация обработки спутниковых данных помогает странам выявлять незаконные вырубki лесов. Например, Бразилия активно использует данные Landsat и Sentinel-2 для мониторинга Амазонии. Алгоритмы машинного обучения классифицируют изображения, позволяя оперативно фиксировать изменения в лесном покрове, а облачные платформы Google Earth Engine поддерживают анализ данных в режиме реального времени

[6]. Данные технологии позволили сократить время на обнаружение нарушений и повысить эффективность правоприменительных мер.

В Индии проект «Fasal» использует гиперспектральные данные для оценки состояния посевов и прогнозирования урожайности. Автоматизированные алгоритмы анализируют спектральные сигнатуры, чтобы определить уровень влажности почвы, идентифицировать болезни растений и оценивать плотность растительного покрова. В результате фермеры получают точные рекомендации по поливу и удобрениям, что позволяет повысить урожайность и снизить затраты. В России системы анализа ДЗЗ активно используются в агропромышленном комплексе. Например, проект компании «ScanEx» предоставляет данные о посевах с использованием спутников Sentinel, позволяя агропредприятиям прогнозировать урожай и управлять земельными ресурсами.

Во время наводнений в Германии в 2021 году данные радарных спутников Sentinel-1 были использованы для определения зон затопления. Автоматизированные методы сегментации позволили создать карты катастрофических изменений в течение нескольких часов после наводнения, что помогло организовать эвакуацию и предоставить помощь пострадавшим [4, 7]. В Калифорнии, где ежегодно происходят масштабные лесные пожары, данные термальных спутников MODIS используются для обнаружения и мониторинга очагов возгорания. Система FIRMS (Fire Information for Resource Management System) обрабатывает тепловые сигнатуры в автоматическом режиме, что позволяет оперативно оповещать службы экстренного реагирования [2, 3].

В Сингапуре спутниковые данные используются для создания моделей городских тепловых островов. Анализ снимков высокого разрешения, полученных со спутников WorldView-3, позволяет выделять зоны с наиболее интенсивным нагревом и разрабатывать стратегии озеленения. В Париже технология автоматической классификации данных ДЗЗ была применена для мониторинга плотности застройки и планирования новых зеленых зон, что способствует снижению нагрузки на экологическую систему города. В России программа «Цифровой двойник Москвы» использует спутниковые данные и машинное обучение для анализа транспортных потоков и управления городской инфраструктурой.

Представленные примеры демонстрируют, что автоматизация обработки данных ДЗЗ выходит за рамки академических исследований и активно применяется для решения прикладных задач. Благодаря использованию машинного обучения, облачных вычислений и других современных технологий удалось сильно повысить эффективность мониторинга, снизить затраты и минимизировать ущерб от природных катастроф. Такие примеры подчеркивают важность внедрения автоматизации как в локальном, так и в глобальном масштабе.

Проблемы и ограничения автоматизации

Автоматизация обработки данных ДЗЗ сталкивается с рядом сложностей, обусловленных как техническими, так и организационными факторами. Несмотря на существенный прогресс, достигнутый в разработке технологий, остаются проблемы, которые ограничивают их повсеместное применение и требуют дальнейшего внимания.

Одной из главных проблем является объем данных и сложность их обработки. Современные спутники, такие как Sentinel-1, Sentinel-2 и Landsat 9, ежедневно генерируют

терабайты данных, что создает серьезные вызовы для их хранения и обработки. Например, в исследовании изменения лесного покрова в Амазонии обработка больших объемов оптических и радарных данных требует высокопроизводительных вычислительных мощностей и специализированных алгоритмов [13]. Даже использование облачных платформ, таких как Google Earth Engine, не всегда обеспечивает требуемую скорость обработки, особенно для анализа данных в режиме реального времени. В проекте FIRMS (Fire Information for Resource Management System) оперативное обнаружение пожаров иногда замедляется из-за необходимости обработки огромного количества тепловых снимков MODIS и VIIRS, поступающих со спутников NASA [10, 11].

Вторая проблема — необходимость качественной калибровки и валидации моделей. Алгоритмы машинного обучения, используемые для анализа данных ДЗЗ, требуют большого количества обучающих данных, которые должны быть тщательно подготовлены. Например, в задачах классификации земного покрова наличие артефактов или ошибок в данных может привести к снижению точности прогнозов. В сельскохозяйственных приложениях, например в прогнозировании урожайности с использованием гиперспектральных данных, ошибки в калибровке сенсоров или недостаточная репрезентативность обучающей выборки приводят к значительным отклонениям в результатах [9, 12]. Это особенно актуально для развивающихся стран, где зачастую отсутствуют ресурсы для выполнения необходимых калибровочных процедур.

Ограничения доступности данных и технологий также значимы, особенно в странах с ограниченными финансовыми и техническими ресурсами. В развивающихся регионах доступ к коммерческим данным, таким как снимки высокого разрешения от спутников WorldView-3 или Pleiades, является дорогим, что ограничивает их использование. Для примера, в Африке, где мониторинг изменения земельного покрова необходим для управления природными ресурсами, часто используются только бесплатные данные Sentinel или Landsat, которые имеют более низкое пространственное разрешение, что снижает эффективность анализа и ограничивает применение технологий в локальных условиях [11, 13].

Также существует проблема стандартизации данных и инструментов обработки. Различные форматы данных, используемые операторами спутников, затрудняют их интеграцию в единые аналитические платформы. Например, при анализе данных о стихийных бедствиях важно объединять данные из оптических, радарных и термальных сенсоров, однако различия в форматах, системах проекции и методах калибровки часто требуют значительных временных затрат на предварительную обработку. В рамках международных программ, таких как Copernicus, предпринимаются усилия по стандартизации, но процесс их внедрения занимает годы [14].

Технические ограничения дополняются проблемами правового характера. В некоторых странах доступ к спутниковым данным или их анализ регламентирован строгими законодательными нормами. Например, в Индии использование данных ДЗЗ для коммерческих целей регулируется, что создает препятствия для реализации частных инициатив.

Перспективы развития автоматизации обработки и анализа данных ДЗЗ

Перспективы развития автоматизации обработки и анализа данных ДЗЗ во многом определяются прогрессом в области технологий искусственного интеллекта, расширением интеграции данных ДЗЗ с другими источниками информации и созданием глобальных аналитических платформ. Современные вызовы, такие как изменение климата, рост населения и урбанизация, требуют повышения точности и скорости обработки данных, что делает автоматизацию ключевым направлением дальнейших исследований и разработок.

Одна из наиболее перспективных областей — развитие методов искусственного интеллекта для работы с большими данными. Современные нейронные сети позволяют обрабатывать растровые изображения высокого разрешения, извлекая из них сложные пространственно-временные зависимости. Например, применение глубокого обучения для сегментации спутниковых снимков способствует точной классификации объектов земного покрова, таких как леса, водоемы или городские зоны. Модели трансформеров, такие как Vision Transformer (ViT), уже демонстрируют потенциал в анализе гиперспектральных данных, открывая новые возможности для мониторинга биологического разнообразия и прогнозирования урожайности [12, 14]. В будущем предполагается разработка гибридных моделей, которые объединят преимущества глубокого обучения с традиционными алгоритмами обработки, что повысит их устойчивость к шумам и артефактам данных.

Другим направлением является углубление интеграции данных ДЗЗ с другими источниками информации, включая наземные сенсоры, данные интернета вещей (IoT) и географические информационные системы (ГИС). Такой подход позволяет создать комплексные модели, которые учитывают не только пространственные и спектральные характеристики, но и динамические изменения, происходящие на местности. Например, интеграция спутниковых данных Sentinel-2 с данными IoT-сенсоров в сельскохозяйственных районах позволяет более точно оценивать состояние почвы и растений, повышая эффективность управления аграрными ресурсами. В контексте мониторинга катастроф эта интеграция помогает моделировать влияние стихийных бедствий на инфраструктуру и население, что особенно важно для разработки систем раннего предупреждения [15].

Важным шагом для ускорения анализа данных является создание глобальных платформ для совместного использования и анализа данных ДЗЗ. Программы, подобные Google Earth Engine и платформе Copernicus, уже играют важную роль, предоставляя доступ к большим объемам данных и инструментам для их обработки. Однако существует потребность в создании новых платформ, которые поддерживают глобальную коллаборацию и стандартизированные подходы к обработке. Например, объединение коммерческих спутниковых операторов, таких как Maxar и Planet, с государственными инициативами может обеспечить беспрецедентный доступ к высокоточным данным для исследовательских и прикладных задач.

Технологический прогресс также требует активного развития инструментов обработки на краю сети (edge computing), что позволит выполнять предварительный анализ непосредственно на борту спутника, сокращая объемы передаваемых данных и ускоряя обработку. Например, проекты, ориентированные на автоматическое обнаружение стихийных бедствий (таких как пожары или наводнения), уже демонстрируют эффективность такого подхода.

Однако реализация этих перспектив требует решения ряда задач. Прежде всего, необходимо развитие кадрового потенциала, способного разрабатывать и внедрять новые технологии [14, 15]. Также важно обеспечить стандартизацию данных и методов, что упростит интеграцию различных систем. Международное сотрудничество и открытый доступ к данным и алгоритмам остаются ключевыми факторами для реализации глобального потенциала автоматизации.

Таким образом, перспективы автоматизации обработки данных ДЗЗ заключаются в активной разработке методов ИИ, углублении междисциплинарной интеграции данных и создании платформ для совместного анализа. Эти направления создают основу для преодоления современных вызовов и более эффективного использования данных ДЗЗ в науке, экономике и управлении природными ресурсами.

Выводы

Проведённый анализ демонстрирует, что развитие технологий обработки данных ДЗЗ ведёт к улучшению их точности, ускорению получения результатов и расширению сфер применения данных. Исследование позволило выделить ключевые достижения, существующие проблемы и перспективы автоматизации, формируя комплексное понимание текущего состояния и потенциальных возможностей этой области.

Главные выводы подчеркивают значительное влияние методов автоматизации на эффективность работы с данными ДЗЗ. Введение алгоритмов машинного обучения, использование облачных платформ и развитие технологий искусственного интеллекта привели к существенному снижению трудовых затрат и повышению качества анализа данных. Примеры применения автоматизации, такие как мониторинг земельных покровов, оценка состояния сельскохозяйственных угодий и анализ экологических изменений, показывают практическую ценность этих решений. Однако остаётся потребность в дальнейшем усовершенствовании алгоритмов, особенно в плане калибровки моделей и фильтрации шумов в данных, чтобы гарантировать их надёжность и применимость в разных условиях.

Роль автоматизации в контексте глобальных вызовов также велика. Увеличение численности населения, изменение климата, урбанизация и ухудшение состояния окружающей среды требуют быстрого сбора и анализа данных для принятия обоснованных решений. Автоматизация обработки данных ДЗЗ не только ускоряет аналитические процессы, но и интегрирует их в системы управления природными ресурсами, мониторинга чрезвычайных ситуаций и городского планирования. Применение таких технологий в развивающихся странах, несмотря на текущие ограничения, может сократить разрыв в технологическом развитии и повысить устойчивость к глобальным вызовам.

Для обеспечения дальнейшего прогресса в области автоматизации данных ДЗЗ важно учесть несколько ключевых рекомендаций для последующих исследований. Во-первых, необходимо продолжать активное развитие методов искусственного интеллекта, включая новые поколения нейронных сетей, таких как трансформеры, и алгоритмы, способные обрабатывать большие объёмы данных в режиме реального времени. Во-вторых, нужно повышать качество данных путём создания более эффективных систем валидации и калибровки, что особенно важно для увеличения точности анализа при работе с данными из нескольких источников. В-третьих, стоит сосредоточиться на разработке глобальных платформ, которые обеспечат стандартизацию обработки данных и доступность аналитических инструментов. Такие платформы могут быть

интегрированы с уже существующими системами, такими как Google Earth Engine или Copernicus, создавая единое пространство для обмена данными и опытом.

Список литературы

1. Бойков В.В., Сыроватка А.В. Основы дистанционного зондирования Земли. М.: Инфра-М, 2015. 432 с.
2. Михайлов В.М., Слущкий Л.А. Обработка и анализ спутниковых изображений. СПб.: Питер, 2018. 280 с.
3. Жучков В.И., Султанов А.А. Методы автоматизации обработки данных дистанционного зондирования. Екатеринбург: УГГУ, 2020. 376 с.
4. Курбанов А.В., Базаров Ю.И. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование: Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2019. 348 с.
5. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / Под ред. А.А. Попова. М.: Наука, 2021. 390 с
6. Беляев В.С., Смирнов П.А. Геоаналитика: инструменты анализа больших данных в геоинформатике. СПб.: Лань, 2019. 320 с.
7. Тикки Д.А., Никольский В.Е., Авакян Е.В., Самошкин Н.С., Сафонова Т.В. Использование спутниковых технологий для оптимизации мониторинга растительности Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 2 (46). С. 15-19.
8. Ткаченко А.А., Иванов В.Е. Алгоритмы машинного обучения для анализа спутниковых данных. Казань: Казанский университет, 2020. 412 с.
9. Елисеев И.П., Мурашкин В.А. Автоматизированные системы мониторинга с использованием спутниковых данных. Новосибирск: СибГУ, 2022. 280 с.
10. Логинов И.С., Мошуров В.М., Сафонова Т.В., Вершинин А.К., Ясников А.И. Спутниковый мониторинг лесных пожаров Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 2 (46). С. 4-10.
11. Чуркин В.Н., Колесников Д.Р. Методы обработки многоспектральных данных в дистанционном зондировании. Екатеринбург: Уральский университет, 2021. 356 с.
12. Дегтярёв А.Н., Поляков И.И. Применение ГИС и автоматизированных методов в экологическом мониторинге. М.: Физматлит, 2018. 296 с.
13. Тикки Д.А., Никольский В.Е., Авакян Е.В., Самошкин Н.С., Сафонова Т.В. Взаимодействие глобальной многофункциональной инфокоммуникационной спутниковой системы связи с объектами ИОТ в сельскохозяйственном производстве Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2023. № 2 (46). С. 61-65.
14. Геоинформационные технологии в управлении природными ресурсами / Под ред. А.И. Соколова. СПб.: СПбГУ, 2021. 304 с.
15. IPCC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ipcc.ch> — IPCC Secretariat World Meteorological Organization, 2021. (Дата обращения: 21.11.2024)

References

1. Boikov V.V., Syrovatka A.V. Fundamentals of remote sensing of the Earth. Moscow: Infra-M, 2015. 432 p.

2. Mikhailov V.M., Slutsky L.A. Processing and analysis of satellite images. St. Petersburg: Peter, 2018. 280 p.
 3. Zhuchkov V.I., Sultanov A.A. Methods of automation of remote sensing data processing. Yekaterinburg: UGGU, 2020. 376 p.
 4. Kurbanov A.V., Bazarov Yu.I. Geoinformation systems and remote sensing: A textbook. Novosibirsk: NSU, 2019. 348 p.
 5. Remote sensing of the Earth from space. Digital image processing / Edited by A.A. Popov. Moscow: Nauka, 2021. 390 p.
 6. Belyaev V.S., Smirnov P.A. Geanalytics: big data analysis tools in geoinformatics. St. Petersburg: Lan, 2019. 320 p.
 7. Tikki D.A., Nikolsky V.E., Avakian E.V., Samoshkin N.S., Safonova T.V.
The use of satellite technologies to optimize vegetation monitoring Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 2 (46). pp. 15-19.
 8. Tkachenko A.A., Ivanov V.E. Machine learning algorithms for satellite data analysis. Kazan: Kazan University, 2020. 412 p.
 9. Eliseev I.P., Murashkin V.A. Automated monitoring systems using satellite data. Novosibirsk: SibGU, 2022. 280 p.
 10. Loginov I.S., Moshurov V.M., Safonova T.V., Vershinin A.K., Yasnikov A.I. Satellite monitoring of forest fires Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 2 (46). pp. 4-10.
 11. Churkin V.N., Kolesnikov D.R. Methods of multispectral data processing in remote sensing. Yekaterinburg: Ural University, 2021. 356 p.
 12. Degtyarev A.N., Polyakov I.I. Application of GIS and automated methods in environmental monitoring. Moscow: Fizmatlit, 2018. 296 p.
 13. Tikki D.A., Nikolsky V.E., Avakian E.V., Samoshkin N.S., Safonova T.V. Interaction of the global multifunctional infocommunication satellite communication system with IOT facilities in agricultural production Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2023. No. 2 (46). pp. 61-65.
 14. Geoinformation technologies in natural resource management / Edited by A.I. Sokolov. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2021. 304 p.
 15. IPCC [Electronic resource]. Access mode: <http://www.ipcc.ch> — IPCC Secretariat of the World Meteorological Organization, 2021. (Date of request: 11/21/2024)
-