

DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-5-37-48



ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ К ПРИМЕНЕНИЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЛАСТИ ГЕОИНФОРМАТИКИ

Н. А. Моисеева¹ ¹ *Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

nat_lion@mail.ru

Аннотация

Отличительной чертой Industry 4.0 является цифровая трансформация всех отраслей экономики, сопровождающаяся экспоненциальным ростом объема данных. Среди этих данных значительную долю составляют пространственные данные (геоданные). Искусственный интеллект (англ. Artificial Intelligence, AI) становится ключевым фактором внедрения передовых технологий и цифровых инструментов в области геоинформатики с использованием алгоритмов машинного обучения (англ. Machine Learning, ML). Это создает актуальный запрос на подготовку студентов к использованию искусственного интеллекта в этой области как со стороны современного рынка труда, так и в контексте инженерного образования.

Статья посвящена изучению особенностей подготовки будущих инженеров технического профиля, чьи профессиональные функции связаны с управлением геоданными посредством искусственного интеллекта. В работе раскрывается технологический потенциал искусственного интеллекта для эффективного управления геоданными, а также рассматриваются значимость и перспективы применения искусственного интеллекта в геоинформатике. Предлагаются методические рекомендации по интеграции искусственного интеллекта в основные образовательные программы будущих инженеров, а также разработано содержание дисциплин, направленных на освоение искусственного интеллекта и машинного обучения с учетом особенностей геоданных и пространственного анализа. Это позволяет обеспечить качественную подготовку будущих кадров инженерно-технического профиля к применению искусственного интеллекта для решения задач анализа и обработки геоданных в их профессиональной деятельности.

Ключевые слова: инженерное образование, цифровизация, искусственный интеллект, машинное обучение, геоинформатика, пространственный анализ.

Для цитирования:

Моисеева Н. А. Особенности подготовки будущих инженеров технического профиля к применению искусственного интеллекта в области геоинформатики. *Информатика и образование*. 2025;40(5):37–48. DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-5-37-48.

SOME FEATURES OF TRAINING FUTURE TECHNICAL ENGINEERS FOR THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FIELD OF GEOINFORMATICS

N. A. Moiseeva¹ ¹ *Omsk State Technical University, Omsk, Russia*

nat_lion@mail.ru

Abstract

The distinctive feature of Industry 4.0 is digital transformation of all sectors of the economy, accompanied by an exponential growth in the volume of data. Among these data, spatial data (geodata) makes up a significant share. Artificial Intelligence (AI) is becoming a key factor in the implementation of advanced technologies and digital tools in the field of geoinformatics, using machine learning algorithms (ML). This creates a pressing need for training students to use AI in this field, both from the modern labor market and in the context of engineering education.

The article examines the features of training future technical engineers whose professional functions involve managing geodata using AI. It is revealed the technological potential of AI for effective geodata management and examines the significance and prospects of using AI in geoinformatics. The methodical recommendations are offered for integrating AI into basic educational programs of future engineers. It is developed the content of disciplines aimed at mastering AI and ML, taking into account the features of geodata

and spatial analysis. This will ensure high-quality training of future engineering and technical personnel for the use of AI to solve problems of analyzing and processing geodata in their professional activities.

Keywords: engineering education, digitalization, artificial intelligence, machine learning, geoinformatics, spatial data analysis.

For citation:

Moiseeva N. A. Some features of training future technical engineers for the application of artificial intelligence in the field of geoinformatics. *Informatics and Education*. 2025;40(5):37–48. DOI: 10.32517/0234-0453-2025-40-5-37-48.

1. Введение

Современный мир стремительно трансформируется под влиянием научно-технического прогресса и внедрения сквозных цифровых технологий, среди которых искусственный интеллект (ИИ, англ. Artificial Intelligence, AI) занимает центральное место на протяжении последнего десятилетия. В условиях постоянного увеличения объемов и сложности геоданных применение AI становится необходимым для эффективного сбора, высокопроизводительной обработки, анализа и интерпретации пространственных данных (ПД) в области геоинформатики¹ [1–5]. Значительная часть данных, генерируемых ежедневно широким спектром технических устройств², относится к пространственным данным: от наблюдений за движением Земли и спутниковых данных до GPS-данных и информации, содержащейся во всех видах цифровых карт. В последнее время большой объем ПД, таких как спутниковые данные или результаты крупномасштабных и глобальных моделей (например, скорость ветра, пополнение грунтовых вод), стал свободно доступен благодаря предоставлению информации множеством национальных агентств и университетов, таких как USGS³, NOAA⁴, ESA⁵, МИИГАиК⁶.

Пространственные данные используются каждый день учеными и инженерами определенных областей деятельности для прогнозирования погоды,

предотвращения катастроф, обеспечения водоснабжения, изучения последствий изменения климата. Они находят применение в работе специалистов таких сфер, как территориальные исследования, космические исследования, геодезия, экология, урбанистика.

Геоинформатика, как междисциплинарная область, объединяющая географические науки, науку информатику и науки о Земле, требует от современных специалистов инженерно-технического профиля не только глубоких знаний и навыков в традиционных методах обработки и анализа больших объемов ПД, но и способности интегрировать в свою профессиональную деятельность алгоритмы искусственного интеллекта.

В современных реалиях наблюдается растущий рыночный спрос на специалистов, обладающих опытом работы с ПД посредством ИИ и владеющих цифровыми компетенциями в сфере ИИ-технологий. В России развитие и внедрение ИИ регламентируется Национальной стратегией развития ИИ до 2030 года⁷. В обновленной версии Стратегии⁸ отмечено, что до 80 % персонала национальных организаций и корпораций к 2030 году должны владеть навыками использования ИИ. При этом доля ведущих секторов российской экономики, готовых к применению ИИ, должна вырасти до 95 %.

Переход к использованию интеллектуальных методов и технологий в области геоинформатики требует современных подходов к подготовке будущих инженеров и своевременного пересмотра основных образовательных программ (ООП). Важно формировать у студентов не только теоретические знания, но и практические навыки работы с ИИ, что позволит им в будущем эффективно решать профессиональные задачи в геоинформатике.

В настоящей статье будет рассмотрен ряд особенностей подготовки будущих студентов инженерно-технического профиля к применению ИИ в области геоинформатики и предложены пути реализации такой подготовки. Также будут исследованы технологический потенциал ИИ для работы с ПД, значимость и перспективы применения ИИ в геоинформатике.

¹ Графы, растры и море: как школьники создают будущее геоаналитики. Хабр. <https://habr.com/ru/companies/vtb/articles/847998/>

² Технические устройства, генерирующие ПД в космосе, на земле и в океане, можно разделить на несколько ключевых категорий в зависимости от их местоположения и принципа действия: 1) средства дистанционного зондирования, 2) стационарные и мобильные датчики, 3) специализированные измерительные комплексы, 4) массовые пользовательские гаджеты.

³ USGS, United States Geological Survey (англ.) — Геологическая служба США — научно-исследовательская правительственные организация, специализирующаяся в геологической съемке США и изучении наук о Земле.

⁴ NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration (англ.) — федеральное ведомство в структуре Министерства торговли США, которое занимается различными видами метеорологических и геодезических исследований и прогнозов для США и их владений, изучением мирового океана и атмосферы.

⁵ ESA, European Space Agency (англ.) — Европейское космическое агентство — международная организация, созданная в 1975 году в целях исследования космоса.

⁶ МИИГАиК, Московский государственный университет геодезии и картографии — это головной вуз консорциума по реализации госпрограммы «Национальная система пространственных данных».

⁷ Национальная стратегия развития искусственного интеллекта до 2030 года (утв. Указом Президента РФ от 10 октября 2019 года № 490). <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946/>

⁸ Указ Президента РФ от 15.02.2024 № 124 «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» и в Национальную стратегию, утвержденную этим Указом». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402150063>

Цель данной статьи — выявление ключевых аспектов подготовки обучающихся к успешному применению искусственного интеллекта в области геоинформатики, что будет способствовать более эффективному решению ими задач, возникающих в этой сфере, и позволит соответствовать требованиям современного рынка труда в условиях Industry 4.0.

2. Значимость и перспективы применения искусственного интеллекта для управления геоданными

В цифровую эпоху большие пространственные данные — один из ведущих факторов развития экономики и общества [2, 6, 7]. В докладе, подготовленном Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» [4], подчеркивается значимость ПД для роста национальной экономики в условиях цифровизации. Среди технологических трендов в сфере ПД особое внимание уделяется ИИ и большим ПД, облачным технологиям, автоматизации обработки ПД и пространственному анализу (ПА).

2.1. Геопространственный искусственный интеллект (GeoAI)

В настоящее время активно обсуждается такой феномен, как геопространственный искусственный интеллект (*англ. Geospatial Artificial Intelligence, GeoAI*). Эта технология объединяет преимущества больших пространственных данных с передовыми аналитическими методами и ИИ, что позволяет революционно трансформировать процессы принятия решений на основе знаний о пространственных отношениях и закономерностях. Использование GeoAI в режиме реального времени предоставляет возможность получать обратную связь о состоянии окружающей среды, например, о пробках на дорогах. В научных публикациях приводятся и другие примеры использования GeoAI. Так, С. А. Кудж в своей статье [8] описывает интеграцию методов геоинформатики и ИИ с целью получения новых знаний (или геознаний), разработки пространственных мультиагентных систем и интеллектуальных логистических систем. L. Gaur, P. K. Garg в исследовании, описанном ими в работе [9], применяют алгоритмы классического машинного обучения (*англ. Machine Learning, ML*) и глубокого обучения (*англ. Deep Learning, DL*) для прогнозирования и оценки изменений в землепользовании, что важно для оптимизации управления водными ресурсами планеты и планирования их использования. Е. А. Корюкин с соавторами в своей статье [10] приводят пример успешной разработки на основе методов компьютерного зрения модели машинного обучения для анализа изображений, размещенных в интернете. Цель предложенной авторами разработки — инновационный и эффективный способ сбора ретроспективных данных о состоянии урбанизированной среды.

2.2. Основные определения

На данный момент нет устоявшегося определения *геоинформатики* (*англ. GIS science, geographic information science, geoinformatics*), что отмечено в статье А. В. Кошкарева [11], поэтому рассмотрим несколько определений этой науки.

С точки зрения автора учебника «Основы геоинформатики» [12] В. Я. Цветкова, одно из фундаментальных определений геоинформатики дано в энциклопедии «Геодезия, картография, геоинформатика, кадастр»¹: геоинформатика — это научно-технический комплекс, объединяющий одноименную отрасль научного знания, технологию и прикладную деятельность, которые связаны со сбором, хранением, обработкой и отображением пространственных (географических) данных, а также с проектированием, созданием и эксплуатацией ГИС.

Зарубежные специалисты под геоинформатикой понимают науку, изучающую способы сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных для решения проблем наук о Земле, таких как география, геодезия, картография и веб-картография, фотограмметрия, дистанционное зондирование, пространственный анализ, глобальные навигационные спутниковые системы, геоинформационные системы (ГИС), а также смежных отраслей науки и техники [13, 14].

Ю. Н. Миронова в статье [15] отмечает, что геоинформатика представляет собой наукоемкую и технологически сложную дисциплину; к основным ее методам относят геоинформационное и цифровое моделирование.

В ГОСТ Р 52438-2005 «Географические информационные системы. Термины и определения» геоинформатика определена как «научно-техническое направление, которое объединяет теорию цифрового моделирования предметной области с использованием пространственных данных, технологии создания и использования геоинформационных систем, производство геоинформационной продукции и оказание геоинформационных услуг»².

В этом же документе под *пространственными данными* (*геоинформационными данными, геопространственными данными, географическими данными, геоданными*) понимаются данные о пространственных объектах и их наборах.

Пространственный объект (геообъект, геоинформационный объект, географический объект), согласно тому же ГОСТ, — это цифровая модель материального или абстрактного объекта реального или виртуального мира с указанием его идентификатора, координатных и атрибутивных данных.

¹ Бородко А. В., Бугаевский Л. М., Верещака Т. В. и др. Геодезия, картография, геоинформатика, кадастр. Энциклопедия: в 2 т. Т. I: А–М: под ред. А. В. Бородко, В. П. Савиных. М., 2008.

² Географические информационные системы. Термины и определения. ГОСТ Р 52438-2005. <https://docs.ctnd.ru/document/1200044680>

Каждую точку ПД можно расположить на карте. Данную операцию можно выполнить, используя определенную систему отсчета координат, например, географические координаты, которые основаны на обычных парах «широта, долгота», чтобы указать местоположение какого-то объекта на земном шаре. Это позволяет анализировать пространственные зависимости между данными.

Большая часть ПД сегодня собирается удаленно, например, с помощью спутников или беспилотников с оборудованием, которое использует электромагнитный спектр (фотографию) или радар. География и науки о Земле все больше полагаются на цифровые ПД, полученные с помощью изображений дистанционного зондирования, проанализированных ГИС и визуализированных на бумаге или дисплее компьютера. Например, ИИ и анализ ПД активно применяются в дистанционном зондировании Земли, а соответствующий накопленный объем цифровых ПД не может быть использован без применения машинного обучения и специальных подходов к хранению и обработке этих данных [4].

Анализируя приведенные выше определения геоинформатики, отметим, что в этой науке применяется цифровое моделирование ПД с целью создания цифровой модели пространственного объекта. Этот процесс включает в себя сбор, анализ и визуализацию ПД, что позволяет лучше понять пространственные объекты и управлять ими. ПД играют ключевую роль в геоинформатике, поскольку они представляют информацию о конкретных местоположениях на земной поверхности. ПД могут быть представлены в виде карт, снимков со спутников, ГИС и в других форматах. Геоинформатика использует эти данные для исследования территорий, анализа изменений в окружающей среде, планирования инфраструктуры и дорожной сети, а также для многих других целей.

Аналитический обзор научной [2, 6–10, 16–20] и технической [21–27] литературы позволил выявить, что ИИ в геоинформатике открывает новые возможности для обработки и анализа ПД, что значительно расширяет возможности и масштаб исследований, а также направления применения ИИ. Особенность ПД заключается том, что они объединяют как данные об объекте, так и данные о местоположении этого объекта, что открывает возможности для сложного анализа с использованием алгоритмов машинного обучения. Так называемая *наука о пространственных данных* — под областью науки о данных, фокусирующаяся на извлечении знаний из пространственных данных с использованием возможностей пространственных алгоритмов и аналитических методов, машинного обучения и глубокого обучения. Авторы статьи [16] отмечают, что применение машинного обучения в географии растет быстрыми темпами, прокладывая путь для будущих достижений в этой науке и ее современных приложениях.

2.3. Искусственный интеллект в геопространственной аналитике

Согласно аналитическому отчету «Geospatial Analytics Artificial Intelligence Market — Forecast (2025–2031)¹», подготовленному IndustryARC², ожидается, что к 2026 году рынок ИИ для геопространственной аналитики вырастет до 172 млн долларов, увеличившись в среднем на 30 % в период с 2021 по 2026 год, что подчеркивает огромный технологический потенциал ИИ. Один из ключевых выводов: рост внедрения инструментов ИИ для пространственной аналитики в связи с их широким спектром применения, таким как мониторинг географических данных в реальном времени, дорожных заторов, пространственный анализ и др., является движущей силой роста рынка.

В отчете «Geographic Information System Market — Forecast (2025–2031)³» отмечено, что рынок ГИС находится под влиянием нескольких движущих факторов: эффективное применение технологии ГИС в управлении стихийными бедствиями, рост спроса на ПД и технологии дистанционного зондирования, интеграция ГИС с интернетом вещей (англ. Internet of Things, IoT) и искусственным интеллектом.

В отчете «Cloud GIS Market (2024–2030)⁴» указано на рост аналитики больших данных, в том числе рост геоаналитики, что поможет упростить картографирование, автоматическое создание задач на основе геоданных (например, направление ближайшего сотрудника на вызов к клиенту).

Факты и тренды, отмеченные в рассмотренных выше отчетах, демонстрируют, что искусственный интеллект играет важную роль в геоинформатике, предоставляя качественно иной по сравнению с традиционными подходами набор методов и инновационных технологических инструментов для обработки и анализа больших пространственных данных.

2.4. Перспективные прикладные приложения искусственного интеллекта в геоинформатике

1. Обработка и анализ больших объемов пространственных данных.

ИИ позволяет автоматизировать обработку и анализ масштабных ПД, значительно ускоряя процесс принятия решений. Например, авторы работы [9] использовали гибридные модели машинного обучения для прогнозирования изменений в земельном покрове с целью оптимизации управления водными ресурсами и планирования их использования.

¹ Geospatial Analytics Artificial Intelligence Market — Forecast (2025–2031). <https://www.industryarc.com/Report/18531/geospatial-analytics-artificial-intelligence-market-research-report.html>

² IndustryARC — консалтинговая фирма по исследованию рынка, которая предлагает отраслевую аналитику рынка, исследования и консалтинг (англ. analytics, research and consulting — ARC).

³ Geographic Information System Market — Forecast (2025–2031). <https://www.industryarc.com/Research/Geographic-Information-System-Market-Research-505407>

⁴ The report “Cloud GIS Market (2024–2030)”. <https://www.industryarc.com/Report/18363/cloud-gis-market-research-report-analysis.html>

2. Обнаружение образов и классификация объектов на спутниковых изображениях.

ИИ используется для классификации объектов на спутниковых изображениях, что помогает в создании карт, мониторинге изменений в окружающей среде и в других приложениях. Например, в статье [7] рассматриваются алгоритмы и модели машинного обучения, применяемые в области дистанционного гиперспектрального зондирования для предсказания состава поверхности городских территорий, а также решение проблем, связанных с гиперспектральной обработкой изображений.

3. Прогнозирование и цифровое моделирование пространственных данных.

ИИ позволяет создавать прогностические модели для предсказания изменений ПД, таких как климатические изменения, популяционная динамика и другие явления. Например, В. А. Останин разработал методику прогноза нефтегазоносности на основе библиотек машинного обучения, используя алгоритм Байеса, также известный как наивный байесовский классификатор [28]. В статье [17] коллектив ученых рассматривает применение глубокого обучения для прогнозирования в различных областях науки о Земле, включая моделирование климата, управление стихийными бедствиями и мониторинг окружающей среды.

4. Геолокация и навигация.

ИИ помогает оптимизировать маршруты и повысить точность географического позиционирования. Например, в статье [18] рассматривается применение современных методов машинного обучения для анализа геохимических данных магматических пород, что позволяет эффективно различать семь различных тектонических обстановок и тем самым улучшить навигационные системы и геолокационные приложения. Для упрощения процесса применения технологий машинного обучения для геологов разработано программное обеспечение GeoTectAI.

Таким образом, искусственный интеллект играет ключевую роль в развитии современных интеллектуальных приложений геоинформатики, обеспечивая инновационный подход для более эффективной и точной обработки и анализа больших пространственных данных, а также открывает новые возможности для применения ИИ и геоинформационных технологий в различных областях, включая геологию, геодезию, экологию, городское планирование и некоторые другие.

3. Содержание обучения будущих инженеров технического профиля машинному обучению для решения задач в геоинформатике

Важность обучения студентов применению ИИ в геоинформатике обусловлена несколькими ключевыми факторами, такими как [1, 4]:

- рост объемов больших ПД;

- повышение качества прогнозов цифровых моделей пространственных объектов, так как технологии машинного обучения способны обрабатывать большие объемы ПД, что позволяет делать более точные прогнозы и моделировать сценарии, которые полезны, например, для городского планирования, управления природными ресурсами и других задач, характерных для геоинформатики¹;
- распространение цифровых решений нового формата — интеграция ИИ в геоприложения инициирует разработку инновационных решений в таких областях, как «умные» города, экология, «умные» транспортные системы, интеллектуальная логистика;
- перспективы на современном рынке труда Industry 4.0.

В 2022 году Минобрнауки России, Альянс в сфере искусственного интеллекта и ведущие национальные цифровые корпорации разработали образовательный модуль «Системы искусственного интеллекта». Этот модуль (или его разделы) уже включили в программы высшего и дополнительного профессионального образования 540 образовательных организаций России². В письмах Минобрнауки России^{3, 4} опубликовано содержание прототипов модулей дисциплины «Искусственный интеллект», а также отмечено, что современные специалисты в России должны владеть цифровыми компетенциями в ИИ.

Согласно концепции развития цифровых компетенций студентов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»⁵, важно развивать у обучающихся цифровую компетенцию «Анализ данных, искусственный интеллект и генеративные модели», связанную с применением математических методов и технологий ИИ для создания алгоритмов на основе больших массивов данных при решении профессиональных задач. Авторы этой концепции рассматривают данную компетенцию как «над-профессиональную» и сквозную, выделяя три уровня ее освоения: начальный, базовый и продвинутый. Они считают, что компетенция должна осваиваться на том или ином уровне всеми студентами

¹ Geospatial Analytics Artificial Intelligence Market — Forecast (2025–2031). <https://www.industryarc.com/Report/18531/geospatial-analytics-artificial-intelligence-market-research-report.html>

² Россия формирует кадровый потенциал в сфере искусственного интеллекта. Минобрнауки России. 12.10.2023. <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/obrazovanie/74181/>

³ Письмо Минобрнауки России от 24.03.2022 № МН-5/570. https://gzgu.ru/doc/vo-info/2022/file_2023-06-15_6d19063bc03c45217154536eb2db329a.pdf

⁴ Письмо Минобрнауки России от 14.06.2023 № МН-5/179660. https://fgosvo.ru/uploadfiles//metod/Ps_MON_5_179660_14062023.pdf

⁵ Концепция развития цифровых компетенций студентов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». НИУ ВШЭ. <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/969166457.pdf>

в обязательном порядке независимо от направления подготовки.

В приказе Минэкономразвития России от 24.01.2020 № 41 «Об утверждении методик расчета показателей федерального проекта “Кадры для цифровой экономики” национальной программы “Цифровая экономика Российской Федерации”»¹ указаны ключевые компетенции цифровой экономики. Среди них важно отметить такую ключевую компетенцию, как «управление информацией и данными». В контексте настоящей статьи эта компетенция включает в себя знания и навыки применения математических методов и технологий ИИ для эффективного управления ПД при решении профессиональных задач в области геоинформатики и ее современных приложений.

Высокоуровневый язык программирования **Python** — один из наиболее популярных цифровых инструментов в области ИИ, благодаря своей доступности и понятности, наличию огромного количества готовых библиотек общего и специализированного назначения, а также активному мировому ИТ-сообществу. Владение основами программирования на Python актуально для студентов практически всех направлений подготовки, особенно инженерно-технических, — это значительно оптимизирует процесс освоения технологий ИИ и тем самым способствует качеству обучения в этой области.

Среди многообразия технологий ИИ следует выбрать для изучения студентами машинное обучение, так как в современных геоприложениях и в геоаналитике для решения различных задач широко и активно применяются методы и алгоритмы машинного обучения. Заметим, что, прежде чем изучать машинное обучение, студенты должны освоить основы программирования на Python.

Существует множество цифровых инструментов для работы с ПД на Python (табл. 1), среди них особое внимание следует уделить фреймворку **GeoPandas**. Это мощный инструмент с открытым исходным кодом, обеспечивающий эффективную работу с ПД в Python. GeoPandas расширяет типы данных, используемых в библиотеке Pandas, позволяя выполнять пространственные операции (ПО) с геометрическими объектами (ГО). Он основан на Pandas и интегрирует другие популярные библиотеки для анализа, такие как Matplotlib и Seaborn.

К важным особенностям GeoPandas в контексте проведения ПА можно отнести следующие:

- наследует множество методов и атрибутов датафреймов Pandas;
- позволяет считывать ПД и преобразовывать их в геодатафрейм.

¹ Приказ Минэкономразвития России от 24.01.2020 № 41 «Об утверждении методик расчета показателей федерального проекта “Кадры для цифровой экономики” национальной программы “Цифровая экономика Российской Федерации”». <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minekonomrazvitiya-Rossii-ot-24.01.2020-N-41/>

Важно различать типы ПД, так как тип данных определяет, какие инструменты следует использовать для анализа и последующей визуализации.

Существуют два основных типа пространственных данных:

- **векторные данные (vector data):** этот тип данных описывает особенности географического положения на Земле посредством использования таких данных, как: точка, мультиточка, линия, мультилиния, полигон, мультиполигон;
- **растровые данные (raster data):** этот тип данных кодирует окружающую среду как непрерывную поверхность, представленную сеткой в виде пикселей.

Векторные и растровые данные комбинируются с **непространственными данными, известными как атрибуты**. ПД могут содержать неограниченное количество дополнительных атрибутов, которые добавляют контекст к информации о местоположении. Например, местоположение университета может быть связано с его названием или адресом.

GeoPandas предназначен для работы преимущественно с векторными данными, однако его легко интегрировать с другими библиотеками Python (например, Rasterio) для обработки растровых данных.

К наиболее распространенным форматам векторных данных относят:

- **Shapefile** — наиболее распространенный формат векторных данных; состоит из трех файлов, представленных в виде zip-файла: файл .shp содержит информацию о геометрическом объекте; файл .dbf содержит атрибуты для каждого ГО; файл .shx является файлом связи между файлами .shp и .dbf, помогает связать атрибуты с фигурами;
- **GeoJSON** — формат ПД, выпущенный в 2016 году; представляет собой единый файл в формате JSON (.geojson).

К наиболее распространенным форматам растровых данных относят:

- **GeoTIFF (.tif, .tiff)** — расширение формата TIFF, поддерживающее геореференцию²;
- **JPEG (.jpg, .jpeg)** — часто используется для изображений, но не всегда подходит для геоинформации из-за потери качества;
- **PNG (.png)** — поддерживает прозрачность, но не содержит геореференции.

С учетом рассмотренных выше особенностей работы с ПД, анализа научно-технической литературы [21–26] и технической онлайн-документации библиотек Python (например, GeoPandas³, GeoPy⁴)

² Геореференция требует использования определенной координатной системы (например, UTM, WGS 84), которая помогает установить, как данные соотносятся с реальным миром.

³ Документация по библиотеке GeoPandas. *GeoPandas*. <https://geopandas.org/en/stable/docs.html>

⁴ Документация по библиотеке GeoPy. *GeoPy*. <https://geopy.readthedocs.io/en/stable/>

Таблица 1 / Table 1

Классификация библиотек Python для работы с пространственными данными**Classification of Python libraries for working with spatial data**

| № п/п | Библиотека и ее краткая характеристика | Базовый функционал |
|--|---|---|
| I. Работа с типами и структурами ПД | | |
| 1 | GeoPandas: работа с ПД | Чтение и запись разных форматов ПД; поддержка ПА с ГО |
| 2 | GeoPy: работа с геолокацией и геокодированием | Геокодирование, поддержка сервисов геокодирования (Google, Nominatim и др.) |
| 3 | Fiona: работа с ПД | Поддержка разных форматов ПД; чтение и запись разных форматов ПД; интерфейс для работы с форматом OGR |
| 4 | Rasterio: работа с растровыми ПД | Чтение, запись, обработка растровых ПД |
| 5 | SpatialPandas: работа с векторными ПД | Упрощение объединения и анализа больших объемов ПД |
| 6 | Turfpy: работа с GeoJSON-данными | Поддержка ПО и функций для обработки ПД; анализ ГО |
| II. Обработка и анализ ПД | | |
| 7 | GeostatsPy: анализ ПД и геостатистика с открытым исходным кодом | Выполнение геостатистических тестов и анализа; визуализация геостатистических результатов |
| 8 | GeoPySpark: работа с большими ПД в распределенной среде | Обработка и анализ больших ПД; распределенные вычисления для ускорения анализа ПД |
| 9 | PyGeodesic: вычисление геодезических расстояний по поверхностям | Поддержка различных моделей Земли; работа с координатами в различных форматах и системах координат |
| 10 | PySAL ¹ : мощная библиотека для ПА | Поддержка методов анализа ПД (пространственная регрессия, кластерный анализ, пространственная автокорреляция и др.) |
| III. Визуализация ПД | | |
| 11 | Basemap: создание карт, визуализация ПД | Проекция карт и отображение ПД; работа с климатическими и метеорологическими данными |
| 12 | CartoPy: создание геопространственных визуализаций | Поддержка различных проекций и картографических стилей ПД; способ представления систем координатных отсчетов |
| 13 | Folium: визуализация интерактивных карт на основе ПД | Создание многослойных карт; интерфейс для работы с GeoJSON и другими ПД; визуализация ПД на веб-картах |
| 14 | Geoplot: простая визуализация ПД | Построение графиков и карт; интеграция с GeoPandas |
| 15 | Shapely: работа с ГО и их анализ | Создание и управление ГО; выполнение ПО |
| IV. Взаимодействие ПД с БД и создание геоаналитических запросов | | |
| 16 | GeoAlchemy: интеграция с БД | Использование SQLAlchemy с пространственными БД |
| 17 | Psycopg2: работа с PostgreSQL для работы с ПД | Выполнение SQL-запросов к БД; работа с типами ПД, представленными в PostGIS |
| V. Взаимодействие с ПД через API | | |
| 18 | ArcPy: автоматизация задач ПА с использованием ArcGIS | Работа с картами и картографическими слоями; конвертация ПД; анализ ПД |
| 19 | SentinelHub: API-работа с данными спутников Sentinel | Доступ к ПД с разных спутников; обработка изображений; визуализация ПД на картах |

¹ Библиотека PySAL содержит множество подбиблиотек, каждая из которых специализирована для решения конкретных задач: например, Libpysal — для эконометрики, Spreg — для пространственной регрессии.

в таблице 1 представлена классификация библиотек Python для работы с ПД:

- I. Работа с типами и структурами ПД (поддержка различных форматов и структур ПД, ПО).
- II. Обработка и анализ ПД (выполнение сложных вычислений и анализа ПД).
- III. Визуализация ПД (создание графических представлений ПД для их лучшего восприятия).
- IV. Взаимодействие ПД с базами данных (БД) и создание геоаналитических запросов (интеграция ПД с реляционными БД и выполнение пространственных запросов).
- V. Взаимодействие с ПД через API (упрощение работы с ПД через различные API и веб-сервисы).

В основе выделенных библиотек Python для работы с ПД лежит функциональная специализация, определяющаяся по типу задач и операций, которые они выполняют. Каждая категория библиотек ориентирована на определенный аспект работы с ПД.

Содержание таблицы 1 демонстрирует, что функционал библиотек Python охватывает широкий спектр задач, связанных с разработкой геоприложений. Эти задачи варьируются от обработки и преобразования ПД до их анализа и визуализации. Важно отметить, что для достижения наилучших результатов в управлении ПД библиотеки часто используются в комбинации друг с другом. С учетом стремительного развития технологий обработки и анализа ПД таблица 1 может быть дополнена новыми библиотеками Python, которые актуальны для решения современных задач геоинформатики. Эти инструменты обеспечивают цифровые решения для эффективной работы с ПД и их анализа, что делает Python одним

из самых востребованных языков программирования в области как ИИ, так и геоинформатики.

Принимая во внимание вышеизложенное, предлагается в ООП будущих инженеров включить дисциплины, направленные на освоение Python (табл. 2) и машинного обучения для анализа больших пространственных данных (табл. 3).

Важная особенность этих дисциплин (см. табл. 2, 3) заключается в использовании открытых ПД, согласно концепции «Открытые данные» (ОД), основными принципами которой являются: полнота, первичность, своевременность, доступность, пригодность к машинной обработке, лицензионная частота, анонимность доступа, отказ от proprietарных форматов [3].

Следует отметить, что освоение этих дисциплин может быть основой для выполнения курсовых работ, задач производственной практики, проектной деятельности и выпускной квалификационной работы студентов (даже в формате студенческого стартапа).

Предложенные структура и содержание дисциплины «Программирование на Python» (см. табл. 2) дают целостное представление об основах программирования на этом языке и делают акцент на ключевых аспектах работы с ПД с использованием Python. С учетом особенностей и назначения ПД целесообразно дополнить изучение в этой дисциплине не только основных библиотек, но и специализированных инструментов, представленных в таблице 1.

Раздел «Работа с пространственными данными из API» отмечен в таблице 2 знаком «*», так как рекомендован к изучению как дополнительный в зависимости от глубины изучения учебного материала дисциплины и технических возможностей, пред-

Таблица 2 / Table 2

Содержание дисциплины «Программирование на Python» для будущих инженеров в области геоинформатики
Contents of the course "Programming in Python" for future engineers in the field of geoinformatics

| № п/п | Раздел | Содержание |
|-------|---|---|
| 1 | Введение в Python для геоинформатики | Установка, настройка среды разработки. Основы Python. Переменные и константы. Арифметические операторы. Функции. Управляющие конструкции алгоритмов. Структуры данных (справки, кортежи, множества, словари) |
| 2 | Основы объектно-ориентированного программирования (ООП) на Python | Введение в ООП. Полиморфизм. Определение операторов. Наследование. Проектирование и разработка классов. Базовые библиотеки Python (NumPy, Pandas, Math, Matplotlib) и их применение в геоинформатике. Визуализация ПД. Построение карт с помощью Matplotlib и встроенных функций GeoPandas. Обработка ПД с помощью GeoPandas и Folium |
| 3 | Работа с пространственными данными | Форматы ПД. GeoPandas для анализа векторных ПД, загрузка, фильтрация и отображение ПД на картах. Fiona: чтение и запись ПД в разных форматах. Визуализация ПД с помощью Matplotlib и Folium. Rasterio: чтение, запись и их обработка. ГО с использованием Shapely |
| 4 | Основы анализа пространственных данных | Пространственные статистики. ПА с помощью GeoPandas: запросы, группировка, агрегация и статистический анализ ПД. Библиотека PySAL: статистические методы для анализа ПД. |
| 5 | Работа с пространственными данными из API* | Взаимодействие с GIS-платформами: Python для работы с GIS-системами. Веб-карты и API, интерактивные веб-карты с использованием Folium и Plotly, получение геоданных через API (например, OpenStreetMap). |

Таблица 3 / Table 3

Содержание дисциплины «Машинное обучение и большие пространственные данные»**Contents of the course "Machine learning and big spatial data"**

| № п/п | Раздел | Содержание |
|----------|---|--|
| 1 | Введение в машинное обучение и его применение к практическим задачам геоинформатики | Понятие машинного обучения и его основные типы. Применение машинного обучения в геоинформатике. Разведочный анализ данных с помощью библиотек Python (NumPy, Pandas, PySAL, Matplotlib, Seaborn). Работа с пространственными признаками. Полный цикл машинного обучения: обучение, валидация и тестирование моделей. Кросс-валидация для оценки устойчивости моделей машинного обучения |
| 2 | Алгоритмы машинного обучения с учителем | Линейные модели в задачах регрессии. Интерполяция и анализ пространственных автокорреляций. Метрики оценки качества моделей регрессии. Алгоритмы классификации: kNN, SVM. Метрики оценки качества моделей классификации. Деревья решений. Random Forest. Ансамблевый метод обучения. Модели ансамблей (бэггинг, бустинг, стэкинг). Градиентный бустинг. LightGBM, XGBoost, CatBoost. Библиотека Scikit-learn |
| 3 | Алгоритмы машинного обучения без учителя | Алгоритмы кластеризации. Геопространственная кластеризация с помощью k-means. Агломеративная (иерархическая) кластеризация. Кластеризация по пространственной близости DBSCAN. Метрики оценки качества моделей кластеризации. Алгоритмы понижения размерности. Методы выбора признаков. Понижение размерности методами t-SNE, UMAP |
| 4 | Глубокое обучение для пространственных данных | Основы нейронных сетей и их применение в анализе изображений. Функции активации и функции ошибки. Оптимизация параметров нейронных сетей. Библиотеки TensorFlow и Keras. Применение сверточных нейронных сетей для распознавания объектов на изображениях. UNet (интерфейс ResNet50) |

усмотренных в образовательном процессе. API позволяет получать актуальные ПД, такие как карты, спутниковые снимки, данные о погоде, транспортные данные и многое другое, без необходимости загружать и хранить их локально.

В качестве задания расчетно-графической работы (РГР) студентам рекомендуется разработать приложение в области обработки и анализа ПД, используя Python. В качестве источника данных для задания РГР следует предложить открытые ПД.

В таблице 3 представлено содержание дисциплины «Машинное обучение и большие пространственные данные». Освоение этой дисциплины обеспечит студентам в области геоинформатики необходимые навыки и знания для эффективного применения машинного обучения в их профессиональной деятельности.

В качестве задания РГР по дисциплине «Машинное обучение и большие пространственные данные» студентам рекомендуется разработать дашборд¹ с помощью Streamlit для инференса модели машинного обучения² к заданному набору данных из области гео-

информатики: предсказание изменений землепользования, оценка рисков (например, землетрясений), классификация земельных покровов.

В качестве самостоятельной работы по дисциплинам «Программирование на Python» и «Машинное обучение и большие пространственные данные» следует рекомендовать студенту освоение массовых онлайн-курсов (МООК), в которых обучающийся может получить дополнительные сведения об анализе данных и математической статистике, машинном обучении и глубоком обучении. Более того, студент приобретает опыт самостоятельного изучения учебного материала МООК в дистанционном формате, что позволяет получить доступ к онлайн-ресурсам в режиме 24/7 и адаптироваться к виртуальной среде онлайн-образования. Полученные навыки облегчают онлайн-коммуникацию и развивают навыки самообразования, что имеет решающее значение в глобализированном мире и в умении учиться в течение всей жизни [29].

В таблице 4 представлены МООК, которые можно рекомендовать студентам для дополнительного самостоятельного изучения Python и машинного обучения, а также междисциплинарные МООК в виртуальных средах национальных цифровых образовательных платформ (табл. 4), например, «Лекториум» (<https://www.lektorium.tv/>) и Stepic (<https://stepik.org/catalog>).

Для повышения уровня цифровых компетенций в сфере ИИ студентам рекомендуется зарегистрироваться на международно признанной цифровой

¹ Дашборд (англ. dashboard) представляет собой аналитическую информационную панель в виде веб-приложения, разработанного средствами Streamlit.

² Инференс модели машинного обучения, инференс ML-модели (англ. Machine Learning Inference) — процесс ввода входных данных в реальном времени в алгоритм машинного обучения (или «модель машинного обучения») для расчета выходных данных. Этот процесс также называется «введение в эксплуатацию модели машинного обучения» или «запуск модели машинного обучения в производство».

Таблица 4 / Table 4

Массовые открытые онлайн-курсы для дополнительной подготовки студентов**Massive open online courses for additional training of students**

| № п/п | МООК | Краткое содержание МООК | Ссылка на МООК |
|--|---|---|---|
| Программирование на Python | | | |
| 1 | Язык программирования Python | Универсальные способы обработки больших массивов данных на Python | https://www.lektorium.tv/python |
| 2 | Поколение Python: курс для начинающих | Базовые понятия и принципы структурного программирования на Python. Строковый тип данных. Списки. Функции | https://stepik.org/course/58852/syllabus?search=5402221464 |
| 3 | Поколение Python: курс для продвинутых | Основы теории и приемы работы со структурами данных Python (массивы, кортежи, списки, словари). Работа с текстовыми файлами | https://stepik.org/course/68343/promo?search=5402221465 |
| Междисциплинарный МООК (основы математической статистики) | | | |
| 4 | Анализ данных | Основные методы статистического анализа данных и их применение, которые необходимы для реализации EDA, ГА и некоторых алгоритмов ML | https://stepik.org/course/57623/syllabus?search=5402289847 |
| 5 | Анализ данных в интеллектуальных решениях | Задачи оптимизации в интеллектуальных решениях. Подготовка данных к анализу. Корреляционно-регрессионный анализ. Дисперсионный анализ | https://stepik.org/course/106145/syllabus?search=6182144825 |
| 6 | Практикум по статистике Python | Базовая теория статистики и применения статистических методов, в том числе на Python (Pandas, NumPy, Scipy, Statsmodels, Matplotlib) | https://stepik.org/course/201739/syllabus?search=5402211373 |
| Визуализация данных | | | |
| 7 | Визуализация данных | Подходы к современной визуализации данных. Визуализация данных по одной переменной, двум и более переменным | https://www.lektorium.tv/data-visualization |
| 8 | Библиотека Matplotlib. Предварительный просмотр данных в Python | Библиотека Matplotlib для визуализации данных на Python. Создание различных видов графиков, диаграмм и визуализаций, чтобы эффективно работать и анализировать данные | https://stepik.org/course/213743/syllabus |
| Машинное обучение | | | |
| 9 | Мегаинтенсив по анализу данных | Основы анализа данных и ML. Архитектуры НС в задачах компьютерного зрения. Диффузионные модели для генерации изображений | https://stepik.org/course/201658/promo?search=5495462018 |
| 10 | Нейронные сети и компьютерное зрение | Архитектура нейронных сетей. Алгоритм настройки нейронных сетей. Методы оптимизации. CNN. Регуляризация и нормализация | https://stepik.org/course/50352/promo?search=6186681331 |
| 11 | Старт в Data Science! | Основы ООП на Python, аналитики на SQL и Pandas. Разработка веб-сервиса и интерактивного дашборда на фреймворке Streamlit | https://stepik.org/course/194633/promo?search=5495462016 |
| 12 | Разработка ML-сервиса: от идеи к прототипу | Подходы к анализу данных и созданию моделей ML. Разработка ML-сервиса на фреймворке Streamlit, демонстрирующего проведенные исследования | https://stepik.org/course/176820/syllabus?search=6182304375 |

платформе Kaggle¹ (<https://www.kaggle.com/>). Эта виртуальная площадка предоставляет возможность

обучающимся исследовать разные наборы данных для участия в конкурсах или использовать данные из репозитория Kaggle для создания цифровых решений с применением алгоритмов машинного обучения. Участие в конкурсах по машинному обучению, а также обмен опытом с другими профессионалами в обла-

¹ Kaggle — онлайн-платформа для проведения соревнований в области Data Science, а также сообщество исследователей данных и экспертов в машинном обучении.

сти Data Science и машинного обучения способствует тому, что студенты смогут развивать свои навыки в области ИИ, интегрироваться в сообщество единомышленников и получать бесценный практический опыт для карьерного роста. В результате они смогут постоянно практиковать и совершенствовать свои цифровые компетенции в сфере ИИ на протяжении всей своей профессиональной карьеры.

Таким образом, можно заключить, что разработка содержания учебного курса по машинному обучению для студентов, направленного на решение задач в геоинформатике, должна основываться на принципах междисциплинарности и непрерывного образования, а также учитывать концепцию открытого доступа к ПД. Подготовка будущих инженеров технического профиля осуществляется на пересечении нескольких дисциплин, таких как геоинформатика, компьютерные науки, математическая статистика. Это позволяет сформировать у студентов современное представление о применении технологий ИИ в геоинформатике. Разработанные дисциплины акцентируют внимание обучающихся на практических аспектах внедрения ИИ, предоставляя студентам возможность работать с реальными данными, что способствует более глубокому пониманию теории и практики.

4. Заключение

Подготовка будущих инженеров технического профиля к применению ИИ в области геоинформатики представляет собой актуальную и важную задачу, вызывающую значительный теоретический и практический интерес у научного сообщества и специалистов этой сферы. Применение алгоритмов машинного обучения, с одной стороны, способствует формированию инновационных методов оптимизации процессов анализа и принятия решений на основе геоданных, а с другой стороны, открывает новые технологические возможности для прикладных приложений ИИ в данной области. Интеграция обучения искусственному интеллекту в образовательные программы будущих инженеров, чья профессиональная деятельность связана с управлением геоданными, является ключевым шагом для повышения конкурентоспособности выпускников на современном рынке труда, особенно в условиях цифровой экономики.

В статье исследованы особенности пространственных данных и их анализа, выделены библиотеки Python, ориентированные на различные функциональные специализации в зависимости от типа решаемых задач. Каждая категория библиотек направлена на определенный аспект работы с ПД, что позволяет будущим инженерам более эффективно справляться с возникающими вызовами в окружающей среде. С учетом специфики ПД и современных цифровых инструментов работы с ними предлагаются последовательное изучение таких дисциплин, как «Программирование на Python» и «Машинное обучение и большие пространственные данные».

Разработка учебного контента в области машинного обучения для студентов должна основываться на принципах междисциплинарности и непрерывного образования, а также учитывать концепцию открытого доступа к ПД. Для повышения уровня цифровых компетенций в сфере ИИ студентам рекомендуется зарегистрироваться на международно признанной платформе Kaggle, что позволит им практиковаться и развивать свои навыки в реальных условиях в течение всей жизни.

В целом актуальность обучения технологиям ИИ в контексте геоинформатики не вызывает сомнений. Это обучение открывает новые горизонты и перспективы профессионального роста для будущих инженерных кадров, позволяя им успешно справляться с вызовами современного мира в условиях цифровой экономики, соответствующей концепции Industry 4.0.

Список источников / References

1. Черемисина Е. Н., Любимова А. В., Толокнова К. В., Кирпичева Е. Ю. Актуальные требования к цифровым компетенциям выпускника для нефтегазогеологической отрасли. *Геоинформатика*. 2022;(1):58–66. EDN: ZQPYSP. DOI: 10.47148/1609-364X-2022-1-58-66.

[Cheremisina E. N., Lyubimova A. V., Toloknova K. V., Kirpicheva E. Yu. Current requirements for digital competencies of a graduate in the oil and gas geological industry. *Geoinformatics*. 2022;(1):58–66. (In Russian.) EDN: ZQPYSP. DOI: 10.47148/1609-364X-2022-1-58-66.]

2. Майоров А. А. Пространственные большие данные и современное российское образование в области геоинформатики. *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2015;(6):105–108. EDN: VDOLDH.

[Majorov A. A. Spatial big data and modern Russian education in geoinformatics. *News of Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerial Photography*. 2015;(6):105–108. (In Russian.) EDN: VDOLDH.]

3. Каракачевцева И. П., Дубов С. С., Андреев М. В., Гаров А. С., Зубарев А. Э., Надеждина И. Е., Козлова Н. А., Слодарж Н. А. Открытые пространственные данные для исследования территорий и цифровые сервисы доступа к ним. *Космические аппараты и технологии*. 2023;7(2(44)):142–152. EDN: HDCBWW. DOI: 10.26732/j.st.2023.2.07.

[Karachevtseva I. P., Dubov S. S., Andreev M. V., Garov A. S., Zubarev A. E., Nadezhdina I. E., Kozlova N. A., Slodarzh N. A. Open spatial data for the exploration of territories and digital services for accessing them. *Spacecrafts & Technologies*. 2023;7(2(44)):142–152. (In Russian.) EDN: HDCBWW. DOI: 10.26732/j.st.2023.2.07.]

4. Белогурова Е. Б., Воробьев В. Е., Гвоздев О. Г. Пространственные данные: потребности экономики в условиях цифровизации. М.: НИУ ВШЭ; 2020. 128 с.

[Belogurova E. B., Vorobyov V. E., Gvozdev O. G. Spatial data: Needs of the economy in the context of digitalization. Moscow, HSE University; 2020. 128 p. (In Russian.)]

5. Черемисина Е. Н., Любимова А. В., Крейдер О. А. Геоинформационные технологии в подготовке кадров в сфере управления природопользованием. *Геоинформатика*. 2018;(3):111–115. EDN: XZIFFR.

[Cheremisina E. N., Lyubimova A. V., Kreider O. A. Geoinformation technologies for education and training of personnel in the field of nature-use management. *Geoinformatics*. 2018;(3):111–115. (In Russian.) EDN: XZIFFR.]

6. Eldawy A., Mokbel M. F. The Era of Big Spatial Data. *Proc. of the VLDB Endowment*. 2017;10(12):1992–1995. DOI: 10.14778/3137765.3137828.

7. Sankarao L., Ghose D. K., Rathinsamy M. Predicting land-use change: Intercomparison of different hybrid machine learning models. *Environmental Modelling & Software*. 2021;145:105207. DOI: 10.1016/j.envsoft.2021.105207.
8. Кудж С. А. Интеграция методов геоинформатики и искусственного интеллекта. *Науки о Земле*. 2020;(2):55–64. EDN: WLIKYK.
- [Kudzh S. A. Integration of geoinformatics and artificial intelligence methods. *GeoScience*. 2020;(2):55–64. (In Russian.) EDN: WLIKYK.]
9. Gaur L., Garg P. K. Emerging trends, techniques and applications in geospatial data science. Hershey, IGI Global; 2023. 309 p.
10. Корюкин Е. А., Бобаков В. С., Буторова А. С., Сергеев А. П. Получение ретроспективных данных о состоянии урбанизированного ландшафта методами компьютерного зрения на примере строительных работ. *Геоинформатика*. 2024;(2):54–63. EDN: KTOXWH. DOI: 10.47148/1609-364X-2024-2-54-63.
- [Koryukin E. A., Bobakov V. S., Butorova A. S., Sergeev A. P. Obtaining retrospective data of the urbanized landscape condition using computer vision methods on the example of construction works. *Geoinformatics*. 2024;(2):54–63. (In Russian.) EDN: KTOXWH. DOI: 10.47148/1609-364X-2024-2-54-63.]
11. Кошкарев А. В. Терминология геоинформатики и картографии в цифровую эпоху. *Геодезия и картография*. 2023;84(2):54–63. EDN: IPPEOG. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-992-2-54-63.
- [Koshkarov A. V. Terminology of geoinformatics and cartography in the digital age. *Geodesy and Cartography*. 2023;84(2):54–63. (In Russian.) EDN: IPPEOG. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-992-2-54-63.]
12. Цветков В. Я. Основы геоинформатики. СПб.: Лань; 2023. 188 с.
- [Tsvetkov V. Ya. Fundamentals of geoinformatics. St. Petersburg, Lan; 2023. 188 p. (In Russian.)]
13. Gospodinov S. G. Geoinformatics as a science of space. *European Journal of Technology and Design*. 2022;10(1):3–8. DOI: 10.13187/ejtd.2022.1.3.
14. Stathopoulos N., Tsatsaris A., Kalogeropoulos K. Geoinformatics for geosciences. Advanced geospatial analysis using RS, GIS and soft computing. India, Elsevier; 2023. 404 p.
15. Миронова Ю. Н. Место геоинформатики в системе наук. *Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1: Математика. Механика. Информатика*. 2020;(1(34)):35–46. EDN: VFZGVN.
- [Mironova Yu. N. Place of geoinformatics in the system of sciences. *Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*. 2020;(1(34)):35–46. (In Russian.) EDN: VFZGVN.]
16. Abigail L., Joni A. D. Machine learning in geography — Past, present, and future. *Geography Compass*. 2021;15(5):e12563. DOI: 10.1111/gec3.12563.
17. Manzhu Y., Qunying H., Zhenlong L. Deep learning for spatiotemporal forecasting in Earth system science: A review. *International Journal of Digital Earth*. 2024;17(1):2391952. DOI: 10.1080/17538947.2024.2391952.
18. Lei M., Wenyang C., Chao Zh., Xiao L. A new approach to dividing the tectonic setting of igneous rocks: Machine learning and GeoTectAI software. *Earth Science Informatics*. 2024;17:4183–4196. DOI: 10.1007/s12145-024-01385-5.
19. Berhanu Ye., Schröder D., Wodajo B. T., Alemayehu E. Machine learning for predictions of road traffic accidents and spatial network analysis for safe routing on accident and congestion-prone road networks. *Results in Engineering*. 2024;(23):102737. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.102737.
20. Zhou Y., Harris R., Tranos E. Where is the geography? A study of the predictors of obesity using UK biobank data and machine learning. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. 2023;7:17. DOI: 10.1007/s41651-023-00142-4.
21. Вестра Э. Разработка геоприложений на Pandas. М.: ДМК Пресс; 2017. 446 с.
- [Vestra E. Developing geo-applications with Pandas. Moscow, DMK Press; 2017. 446 p. (In Russian.)]
22. Грекусис Дж. Методы и практика пространственного анализа. Описание, исследование и объяснение с использованием ГИС. М.: ДМК Пресс; 2021. 500 с.
- [Grekusis G. Methods and practice of spatial analysis: Description, exploration and interpretation using GIS. Moscow, DMK Press; 2021. 500 p. (In Russian.)]
23. Bahgat K. Python geospatial development essentials. Birmingham — Mumbai, Packt Publishing; 2024. 192 p.
24. Korstanje J. Machine learning on geographical data using Python. Introduction into geodata with applications and use cases. Berkeley, CA, Apress; 2022. 328 p.
25. Rey S., Arribas-Bel D., Wolf L. J. Geographic data science with Python. New York, Chapman and Hall/CRC; 2023. 410 p.
26. Galety M., Natarajan A., Gedera T., Lemma T. Ethics, machine learning, and Python in geospatial analysis. Hershey, IGI Global; 2024. 339 p.
27. Faruque F. Geospatial technology for human well-being and health. Cham, Springer; 2022. 417 p.
28. Останин В. А. Разработка методики эмпирического научного исследования с применением стандартных библиотек автоматического машинного обучения на примере прогноза нефтегазоносности территории Томской области. *Геоинформатика*. 2024;(1):4–18. EDN: JIKLMQ. DOI: 10.47148/1609-364X-2024-1-4-18.
- [Ostainin V. A. Development of a methodology for empirical scientific research using standard libraries of automatic machine learning on the example of predicting oil and gas reservoirs in the Tomsk region. *Geoinformatics*. 2024;(1):4–18. (In Russian.) EDN: JIKLMQ. DOI: 10.47148/1609-364X-2024-1-4-18.]
29. Моисеева Н. А. Значимость сквозных цифровых технологий в подготовке будущих инженеров (на примере искусственного интеллекта). *Инженерное образование*. 2024;(35):74–86. EDN: OUGOJC. DOI: 10.54835/18102883_2024_35_7.
- [Moiseeva N. A. Importance of end-to-end digital technologies in future engineers' training (based on example of artificial intelligence). *Engineering Education*. 2024;(35):74–86. (In Russian.) EDN: OUGOJC. DOI: 10.54835/18102883_2024_35_7.]
- Информация об авторе**
Моисеева Наталья Александровна, канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры «Прикладная математика и фундаментальная информатика», факультет информационных технологий и компьютерных систем, Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия; ORCID: <https://orcid.org/org/0000-0002-9502-3891>; e-mail: nat_lion@mail.ru
- Information about the author**
Natalya A. Moiseeva, Candidate of Sciences (Education), Docent, Associate Professor at the Department “Applied Mathematics and Fundamental Informatics”, Faculty of Information Technology and Computer Systems, Omsk State Technical University, Omsk, Russia; ORCID: <https://orcid.org/org/0000-0002-9502-3891>; e-mail: nat_lion@mail.ru
- Поступила в редакцию / Received:** 25.12.24.
Поступила после рецензирования / Revised: 21.03.25.
Принята к печати / Accepted: 25.03.25.