

УДК 004.85

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГЕОЛОГИИ

В. В. Наумова¹ [0000-0002-3001-1638], М. И. Патук² [0000-0003-3036-2275],

А. С. Еременко³ [0000-0003-1923-8417], А. А. Загуменнов⁴ [0000-0002-0501-5362],

В. С. Ерёменко⁵ [0000-0002-5250-5743]

¹⁻⁵Государственный геологический музей им. В. И. Вернадского РАН,
г. Москва, Россия

^{3, 4}Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного
отделения РАН, г. Владивосток, Россия

^{3, 4}Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

¹naumova_new@mail.ru, ²patuk@mail.ru, ³academy21@gmail.com,

⁴truepikvic@gmail.com, ⁵vitaer@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены технологии, способные радикально изменить развитие сразу многих областей: искусственный интеллект, квантовые технологии, большие данные, технологии беспроводной связи, системы распределенного реестра и др. Представлен ряд перспективных технологий ближайшего будущего, которые в настоящее время имеют перспективы применяться в науках о Земле. Дан обзор применения этих технологий для решения различных геологических задач, в том числе и результатов, полученных авторами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, числовые инструменты, виртуальные ассистенты, интеллектуальные агенты, числовые технологии будущего в геологии.

ВВЕДЕНИЕ

Всемирный экономический форум (ВЭФ) с 2011 г. публикует ежегодный отчет с описанием десяти лучших инновационных технологий, которые потенциально могут стать революционными в течение нескольких лет. В июне 2024 г. ВЭФ опубликовал новый отчет, который основан на идеях более 300 ведущих

щих мировых ученых и исследователей – участников Сети советов по вопросам глобального будущего, а также сети Frontiers, с более чем двумя тысячами главных редакторов ведущих научных изданий.

По версии ВЭФ в 2024 г. выделены 10 следующих перспективных технологий [1].

1. **Искусственный интеллект (ИИ) для научных открытий.** Ожидается, что достижения в области глубокого обучения, генеративного ИИ и фундаментальных моделей революционизируют процесс научных открытий.

2. **Технологии повышения конфиденциальности.** Синтетические данные защищают персональную информацию и предоставляют новые возможности для глобального сотрудничества и обмена данными.

3. **Реконфигурируемые интеллектуальные поверхности.** Превращение обычных стен и других поверхностей в интеллектуальные компоненты для беспроводной связи повысит энергоэффективность сетей и откроет новые перспективы в таких областях, как интеллектуальные фабрики или транспорт.

4. **Высотные платформы** (High-Altitude Platform Station — HAPS, геостационарные атмосферные спутники). Применение самолетов, дирижаблей и воздушных шаров может расширить доступ к сетям мобильной связи в отдаленных регионах, помогая преодолеть цифровой разрыв.

5. **Интегрированное обнаружение и связь.** Сети 6G облегчат одновременный сбор данных (зондирование) и их передачу (связь), что позволит создавать системы мониторинга пространства, применимые в сельском хозяйстве, экологии, городском планировании.

6. **Иммерсивная технология для построенного мира.** Метавселенная и цифровые двойники с вычислительными мощностями, виртуальной и дополненной реальностью открывают новые перспективы для строительной отрасли.

7. **Эластокалорики.**

8. **Микроны, улавливающие углерод.**

9. **Альтернативные корма для животных.**

10. **Геномные технологии для трансплантаций.**

Рассмотрим построенный на этой основе ряд перспективных цифровых технологий, способных радикально изменить развитие геологических исследований, которые в настоящее время уже применяются или имеют перспективы применяться:

1. Искусственный интеллект;
2. Технологии беспроводной связи;
3. Системы распределенного реестра;
4. Большие данные и квантовые вычисления;
5. Виртуальная и дополненная реальность (VR и AR);
6. Цифровые инструменты и виртуальные ассистенты.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Выделяют семь направлений в области ИИ:

- компьютерное зрение;
- обработка естественного языка;
- распознавание и синтез речи;
- рекомендательные системы и интеллектуальные системы поддержки принятия решений;
- перспективные методы и технологии в ИИ;
- нейропротезирование;
- нейроинтерфейсы, нейростимуляция и нейросенсинг.

Хотя ИИ уже используется в научных исследованиях, достижения в области глубокого обучения, генеративного ИИ и базовых моделей коренным образом изменяют процесс научных открытий. Искусственный интеллект позволяет исследователям устанавливать беспрецедентные связи и добиваться прогресса в изучении геологических объектов и процессов.

Развитие методов ИИ, связанное с обработкой и генерацией текстов, открыло серьезные возможности по извлечению новых знаний из потока научной геологической информации, которую очень трудно, а зачастую и невозможно переработать традиционным методом чтения. С помощью методов обработки естественного языка решаются следующие задачи: выделение геоло-

гических и географических именованных сущностей, извлечение пространственных и временных взаимосвязей, классификация, кластеризация, реферирование геологических отчетов и публикаций.

Разработан широкий спектр алгоритмов машинного обучения, подходящих для выполнения специализированного геологического анализа. Машинное обучение можно использовать с целью выявления геологоразведочных объектов в условиях избытка данных, автоматического выявления геологических зон залегания полезных ископаемых, оценки твердости руды на основе результатов анализа и др.

Разработка методов ИИ, связанных с анализом изображений, в том числе и 3D-изображений, открывает новые возможности, связанные с анализом изображений пород и минералов.

Достаточно подробный анализ применения ИИ для решения геологических задач дан в статье [2].

ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

Технология беспроводных сенсорных сетей позволяет совместить сенсоры, микропроцессор для сбора и первичной обработки данных, системы питания и радиосвязи в небольшом защищенном корпусе и объединить много таких устройств в беспроводную сеть сбора данных, которая способна к самонастройке и автономной работе на открытой местности в течение нескольких лет.

Сенсорные сети используются для мониторинга вулканов — объектов, требующих постоянного наблюдения и изучения. Такие сети — это распределенные, самоорганизующиеся сети множества датчиков (сенсоров), объединенных между собой посредством радиоканала. Цель — фиксировать физические параметры, связанные с геологическими процессами под поверхностью, и передавать данные в центры мониторинга.

В наше время цифровизация имеет тенденцию к подключению устройств беспроводных сенсорных сетей к так называемому интернету вещей (IoT — системе взаимосвязанных устройств, которые могут собирать данные, обрабатывать их и обмениваться ими между собой, с человеком и серверами)

для реального мониторинга процессов. Системы WSN и IoT основаны на новейших лазерных или ультразвуковых технологиях и могут проводить измерения с точностью до нескольких миллиметров или выше.

СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА

Системы распределенного реестра применяются в геологии для обеспечения безопасной, неизменяемой и прозрачной передачи данных между участниками геологоразведочных работ, добычи полезных ископаемых и мониторинга геотехнических объектов. Такие системы позволяют:

- хранить информацию в электронной системе БД, распределенной между несколькими сетевыми узлами или устройствами, без единого управляющего узла;
- синхронизировать данные между узлами с помощью автоматического алгоритма консенсуса: каждый узел самостоятельно обновляется, после чего все «голосуют» за обновление реестра и достигают согласия в отношении одной из его копий;
- защищать данные уникальной электронной подписью, что обеспечивает защищенность БД, а также ее прозрачность.

Отметим системы распределенного реестра, которые используются в геологии в РФ:

- В ФГИС «Единый фонд геологической информации о недрах» (ЕФГИ) — федеральная государственная информационная система, которая содержит реестр геологической информации, имеющейся в федеральном и территориальных фондах геологической информации, а также в организациях, находящихся в ведении органов государственной власти. Цель — информационное обеспечение управления государственным фондом недр, ведения государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых, государственного баланса запасов полезных ископаемых, реестра работ по геологическому изучению недр.
- В Информационное пространство «Единый банк геолого-геофизической информации ВНИГНИ» — веб-ориентированная программная среда для организации распределенного хранения и доступа к геолого-геофизической информации, накопленной во ФГБУ «ВНИГНИ» [3].

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Квантовые компьютеры смогут решать задачи, непосильные для классических систем, что открывает новые горизонты в науке, криптографии и оптимизации. Благодаря квантовым явлениям, квантовые компьютеры будут способны выполнять вычисления с беспрецедентной скоростью. Квантовая криптография обеспечит абсолютно безопасную передачу данных, защищенную от взлома.

Квантовые вычисления (квантовые алгоритмы) применяются в геологии для решения задач, которые требуют больших вычислительных ресурсов и занимают много времени на классических компьютерах. Это связано с использованием квантовых вычислителей («отжигателей») и квантовых сенсоров — устройств, которые фиксируют мельчайшие изменения в окружающей среде.

В 2024 г. Геологическая служба США (USGS) и компания Q-Ctrl объявили о заключении договора о сотрудничестве, цель которого состоит в использовании квантовых технологий для поиска полезных ископаемых [4]. Кроме того, стороны должны освоить новые методы прогнозирования стихийных бедствий. Одним из направлений сотрудничества станет применение технологий квантового зондирования для точного определения запасов минералов и воды. Стороны также намерены использовать другие сложные квантовые методы, такие как квантовая гравиметрия, квантовая магнитометрия и квантовая оптимизация. Ожидается, что это не только повысит эффективность разведывательных работ, но и снизит затраты на добычу ресурсов благодаря высокоточному планированию.

ВИРТУАЛЬНАЯ И ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности применяются в геологии для визуализации геологических данных, моделирования и анализа структур. Эти технологии позволяют специалистам погружаться в геологические структуры, изучать их изнутри и получать более глубокое понимание строения недр.

Одним из применений виртуальной реальности в геологии являются визуализация и моделирование геологических данных. С помощью VR специалисты могут создавать трехмерные модели горных пород, разломов, пластов

и других геологических структур, что позволяет им лучше понять их структуру и взаимодействие.

Виртуальная реальность также используется для проведения геологических исследований в недоступных или опасных районах. Специалисты могут использовать VR, чтобы исследовать вулканы, карстовые ямы, пещеры и другие опасные места без риска для своей жизни.

Кроме того, VR позволяет создавать виртуальные пробы и моделировать геологические процессы, что помогает специалистам прогнозировать и анализировать различные явления, такие как землетрясения, извержения вулканов, наводнения и другие природные катастрофы.

Другим важным применением VR в геологии являются обучение и тренировка специалистов. Студенты и геологи смогут погрузиться в виртуальные геологические местности и изучать их без фактического присутствия на месте, что позволит им приобрести ценный опыт и знания, не выходя из аудитории или кабинета.

Таким образом, применение виртуальной реальности в геологии и исследованиях является важным инструментом, который помогает ученым и специалистам проводить более точные, эффективные и безопасные исследования, а также обучать будущих геологов.

ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ВИРТУАЛЬНЫЕ АССИСТЕНТЫ

В геологии используются цифровые инструменты и виртуальные ассистенты на основе ИИ и виртуальной реальности. Эти технологии помогают изучать недра, анализировать данные и принимать решения на их основе. Среди них можно отметить:

- **Обнаружение месторождения железной руды в Западной Австралии.** Специалисты стартапа Earth AI с помощью алгоритмов искусственного интеллекта проанализировали архивные спутниковые снимки за последние 20 лет, данные геофизических исследований и результаты предыдущих разведочных работ. В результате затраты на поиск сократились на 30%, а время разведки — с 3 лет до 8 месяцев.

- **Выявление дополнительных запасов нефти в уже разрабатываемых пластах.** Компания «Газпром нефть» применила ИИ-алгоритмы, которые проанализировали исторические данные бурения и сейсмики за 15 лет. По оценкам экспертов, такие «цифровые месторождения» могут увеличить добычу на 5–15% без дополнительных капитальных вложений.

- **Обнаружение никелевых месторождений в Индонезии.** Спутник Phisat-2 с ИИ-алгоритмами обнаружил никелевые месторождения по повышенной температуре поверхности в районах древних вулканов.

- **Обнаружение крупных залежей фосфатов в Западной Африке.** Система на основе ИИ от EOS Data Analytics выявила участки с аномальным содержанием фосфора в почве по изменению ее отражательной способности.

- **Поиск кимберлитовых трубок — главных источников алмазов.** В 2023–2024 годах специалисты Института геологии алмаза (Якутск) успешно внедрили систему на основе искусственного интеллекта, которая анализирует комплекс данных: от спектральных характеристик растительности до магнитных аномалий.

В работе [5] проведен анализ приложений в геологии цифровых инструментов и виртуальных ассистентов.

Технологии будущего в геологии связаны с развитием цифровых решений, которые повышают эффективность и точность геологических исследований, открывают новые возможности для поиска и разведки полезных ископаемых. Главные тренды состоят в интеграции ИИ, IoT и Big Data, а также в развитии квантовых вычислений для сверхточного моделирования.

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ИНТЕГРАЦИИ И АНАЛИЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Основной целью работ, которые выполняются нами в Государственном геологическом музее им. В. И. Вернадского РАН (ГГМ РАН), является разработка Единого цифрового пространства геологических знаний, которое рассматривается как некоторая перспектива создания, развития и интеграции разно типовых информационных ресурсов РФ и сервисов, в том числе осно-

ванных на моделях и технологиях ИИ, в современной цифровой интеллектуальной среде. Результаты этих работ доступны пользователям на Портале <https://geologyscience.ru> (рис. 1) [6].

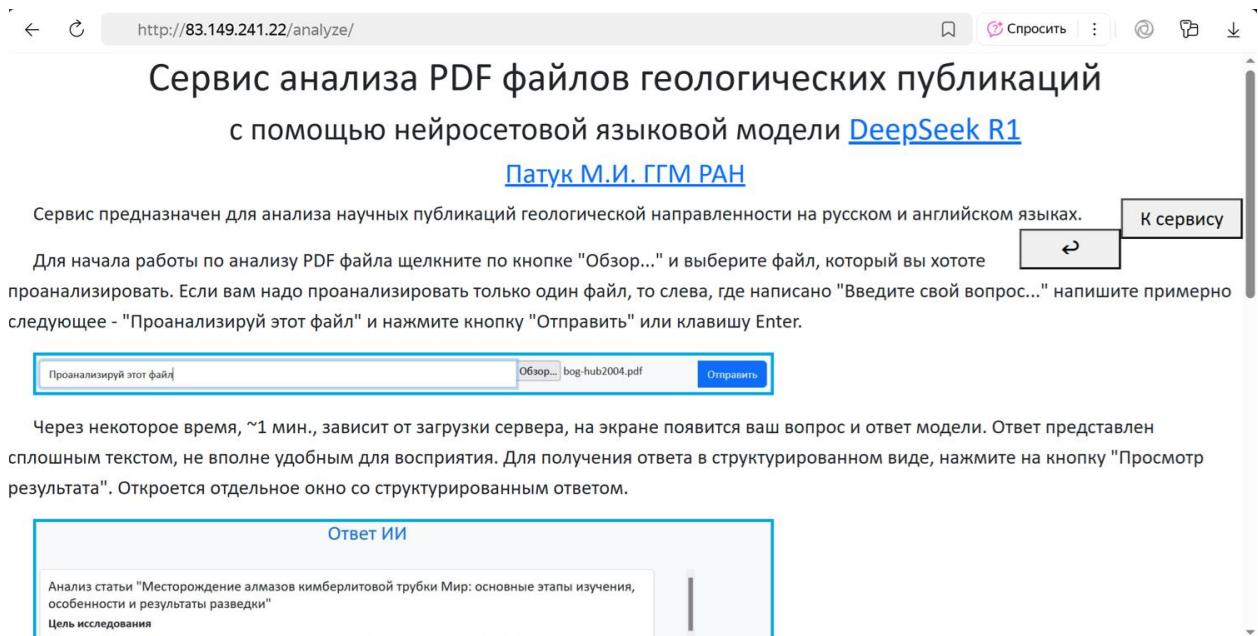


Рис. 1. Портал GeologyScience.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕКСТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПУБЛИКАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Стремительный рост объема публикаций во всех областях геологических наук делает критически важным внедрение методов автоматизированной обработки научных текстов. Одним из наиболее перспективных инструментов для решения этой задачи выступают большие языковые модели на основе нейронных сетей. Наши работы по семантическому поиску публикаций с использованием дополнительно тренированных языковых моделей и расчету меры близости геологических текстов показали хорошие результаты. Но используемые модели оказались неспособны выполнить глубокий анализ текстов. Сравнительный анализ современных архитектур позволил нам выделить модель DeepSeek R1, относящуюся к классу систем с расширенными возможностями логического вывода. Проведено тестирование предложенного подхода для сравнительного анализа геологических публикаций. Тестирование показало результаты, вызывающие доверие.

Нами разработан ряд сервисов анализа геологических текстов с помощью больших нейросетевых языковых моделей (рис. 2) [7]. Они позволяют выполнять поиск на основе введенного запроса или анализировать предоставленные тексты, включая сравнение нескольких публикаций, том числе поиск семантически близких публикаций, определение косинусной близости двух текстов, сравнительного анализа текстов геологических публикаций.



Сервис анализа PDF файлов геологических публикаций с помощью нейросетевой языковой модели [DeepSeek R1](#)

[Патук М.И. ГГМ РАН](#)

Сервис предназначен для анализа научных публикаций геологической направленности на русском и английском языках.

Для начала работы по анализу PDF файла щелкните по кнопке "Обзор..." и выберите файл, который вы хотите проанализировать. Если вам надо проанализировать только один файл, то слева, где написано "Введите свой вопрос..." напишите примерно следующее - "Проанализируй этот файл" и нажмите кнопку "Отправить" или клавишу Enter.

Проанализируй этот файл Обзор... bog-hub2004.pdf Отправить

Через некоторое время, ~1 мин., зависит от загрузки сервера, на экране появится ваш вопрос и ответ модели. Ответ представлен сплошным текстом, не вполне удобным для восприятия. Для получения ответа в структурированном виде, нажмите на кнопку "Просмотр результата". Откроется отдельное окно со структурированным ответом.

Ответ ИИ

Анализ статьи "Месторождение алмазов кимберлитовой трубы Мир: основные этапы изучения, особенности и результаты разведки" Цель исследования

Рис. 2. Сервис анализа pdf-файлов геологических публикаций на портале [GeologyScience.ru](#)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО РАБОТЕ СО СПУТНИКОВЫМИ И ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ В ВИДЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В ГГМ РАН осуществляется разработка информационно-вычислительного узла для поиска и обработки спутниковых и пространственных данных для решения задач геологии на основе программной платформы Open Data Cube AI [8], при этом реализуется интеграция технологий DataCube AI, GeoAI и LLM для поиска и обработки спутниковых данных.

В ходе работ были исследованы и апробированы технологии Spatio-Temporal Asset Catalog (STAC) и Cloud-Optimized GeoTIFF (COG) для доступа

к спутниковым данным посредством запросов на естественном языке. Для обработки спутниковых данных применялась технология Open Data Cube, позволяющая получить доступ к каждому пикселю спутниковых данных в потоковом режиме, что совместно с технологией COG позволило обрабатывать спутниковые данные без необходимости их предварительной загрузки целиком, а работать только с нужным географическим регионом, что существенно снизило нагрузку и повысило производительность, а также исключило промежуточное звено в виде хранения данных, что позволяет говорить о распределенной системе обработки. Большие языковые модели также показали состоятельность при формировании визуализации спутниковых данных в соответствии с решаемой задачей геолога-исследователя, что позволит динамически адаптировать интерфейс пользователя, составляя его из типовых элементов.

Полученные разработки в ближайшее время планируется развернуть в виде тестового прототипа на портале <https://geologyscience.ru>

ВИРТУАЛЬНЫЙ АССИСТЕНТ ГЕОЛОГА-ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

Виртуальный ассистент геолога-исследователя разрабатывается нами для того, чтобы выступать в качестве полезного помощника геолога, способствуя ускорению процесса научных открытий [9]. Предполагается, что система будет представлять собой сложную мультиагентную систему ИИ, разработанную для отражения процесса рассуждений, лежащего в основе научного метода. Ассистент по искусенному интеллекту призван помочь раскрыть новые, оригинальные знания и наглядно сформулировать новые исследовательские гипотезы и предложения, основанные на предыдущих доказательствах и согласованные с предоставленными научными целями исследования и руководящими указаниями.

A	B	C	D
1	Depth	Quartz	K-Feldspar
2	3173.97	27.56	0.4
3	3183.11	42.92	0.64
4	3192.26	44.65	0.56
5	3201.4	42.65	0.38
6	3210.54	42.81	1.26
7	3219.69	40.13	1.1
8	3228.83	40.32	5.2
9	3237.98	36.02	0.08
10	3247.12	36.48	0.26
11	3256.26	32.51	0.41
12	3265.41	36.07	0
13	3274.55	38.02	0.79
14	3283.7	36.21	0.23
15	3292.84	39.91	1.22
16	3301.98	38.23	0.42
17	3311.13	39.69	0.51
18	3338.56	39.49	1.15
19	3347.7	35.87	0
20	3356.85	32.91	0.18
21	3365.99	30.02	0.29
22	3375.14	32.87	0
23	3384.28	37.41	0
24	3393.42	39.32	0
25	3402.57	34.75	1.38
26	3411.71	34.11	0.75
27	3420.86	31.11	0.77
28	3430	31.78	1.74

Рис. 3. Рабочий кабинет пользователя на портале <https://geologyscience.ru>

МЕТАВСЕЛЕННАЯ «ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ»

Популяризацию геологических знаний мы осуществляляем с помощью виртуальных пространств. Это цифровые среды, в которых пользователи могут взаимодействовать как по образовательным и научным мотивам, так и просто находить собеседников по интересам и общаться. Такие среды называют метавселеными. Чтобы реализовать возможность полного виртуального погружения в метавселенную, для создания трехмерного мира используются такие передовые технологии, как виртуальная реальность, 3D-реконструкция, искусственный интеллект и Интернет вещей.

Нами рассмотрена новая концепция популяризации научного знания и получения образовательного опыта через взаимодействие с виртуальным окружающим миром с привлечением ИИ-агентов, подключенных к накопленной базе научно-популярного знания. Таким образом, метавселенная — это постоянно действующее цифровое пространство, в котором пользователи могут взаимодействовать с виртуальными мирами и другими пользователями в реальном времени.

В статье [10] описан первый этап проектирования Метавселенной «История Земли».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены методы и разработаны цифровые технологии для аккумуляции больших объемов территориально распределенной геологической и музейной информации (Big Data), а также для веб-сервисов для обработки и анализа всех типов геологической информации, в том числе и интеллектуальных для анализа геологических публикаций с использованием больших языковых моделей ИИ. Предложена первая версия интеграции геологических данных и сервисов на базе ИИ. В основе интеграции лежит цифровое решение постановки геологических задач. На этом решении разработан прототип цифрового ассистента геолога-исследователя для геологических информационных систем. Результат имеет принципиальную новизну. Возможные сферы практического применения – это поддержка научных геологических исследований, решение задач производственной геологии, получение аналитических материалов органами государственной власти и др через разработанный нами портал ГГМ РАН <https://geologyscience.ru>.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках Государственной темы Государственного геологического музея им. В. И. Вернадского РАН (FMMR-2025-0001) Рег. №1022061000107-4-1.5.1 «Естественнонаучные музеи в едином цифровом пространстве геологических знаний».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Top 10 Emerging Technologies of 2024,
URL: <https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-2024/>
2. Наумова В.В., Патук М.И., Еременко А.С., Загумённов А.А., Ерёменко В.С. Цифровые технологии будущего — современные решения в науках о Земле // Геоинформатика. 2024. № 3. С. 53–63.
3. Марков К.Н., Жуков К.А., Конева А.А., Костылева Т.В. Распределенный банк геолого-геофизической информации ВНИГНИ как составная часть Единого фонда геологической информации отрасли// Геология нефти и газа. 2021. №3., С.67-76.

4. Q-CTRL Partners with USGS to Pioneer Quantum Sensing and Computing Applications. URL: <https://q-ctrl.com/blog/q-ctrl-partners-with-usgs-to-pioneer-quantum-sensing-and-computing-applications>
5. *Naumova V.V., Zagumennov A.A., Eremenko V.S.* Digital Tools and Virtual Assistants to Support Scientific Research in Geology // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics, 2024, Vol. 58, Suppl. 5, P. S287–S291.
6. *Наумова В.В., Еременко В.С., Загуменнов А.А., Патук М.И.* Научный портал Geologyscience.ru: текущее состояние и перспективы развития// Геоинформатика. 2023. № 3. С. 33–43.
7. *Патук М.И., Наумова В.В.* Сравнительный анализ текстов геологических публикаций с использованием больших языковых моделей. // Цифровые технологии будущего — современные решения в науках о Земле ITES-2025: Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, Владивосток, 22–26 сентября 2025 г. / сост. А.А. Стрельцова. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2025. С. 23
8. *Загуменнов А.А., Наумова В.В.* Сервисы на основе методов искусственного интеллекта для поддержки научных исследований в геологии // Материалы Международной конференции «Марчуковские научные чтения 2024» (МНЧ-2024), 7–11 октября 2024 г., Академгородок, Новосибирск, Россия. С. 125.
9. *Еременко В.С., Наумова В.В.* Мультиагентная система – AI виртуальный соавтор геолога-исследователя // Цифровые технологии будущего — современные решения в науках о Земле ITES-2025: Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, Владивосток, 22–26 сентября 2025 г. / сост. А.А. Стрельцова. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2025. С. 22.
10. *Еременко А.С.* Метавселенная «История Земли» - новый взгляд на популяризацию геологических знаний // Электронные библиотеки. 2025. Т. 28, № 1. С. 1–21. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2025-28-1-2-21>

DIGITAL TECHNOLOGIES OF THE FUTURE FOR SCIENTIFIC RESEARCH IN GEOLOGY

**V. V. Naumova¹ [0000-0002-3001-1638], M. A. Patuk² [0000-0003-3036-2275],
A. S. Eremenko³ [0000-0003-1923-84171], A. A. Zagumennov⁴ [0000-0002-0501-5362],
V. S. Eremenko⁵ [0000-0002-5250-5743]**

¹⁻⁵*Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

^{3, 4}*Institute of automatic and control processes of FEB RAS, Vladivostok, Russia
3, 4Far East Federal University, Vladivostok, Russia*

¹naumova_new@mail.ru, ²patuk@mail.ru, ³academy21@gmail.com, ⁴truepik-vic@gmail.com, ⁵vitaer@gmail.com

Abstract

The article discusses technologies that can radically change the development of many areas at once: artificial intelligence, quantum technologies, big data, wireless communication technologies, distributed registry systems. The authors consider a number of promising technologies of the near future that currently have prospects for application in Earth sciences. The review of the application of these technologies to solve various geological problems, including the results obtained by the authors, is carried out.

Keywords: *Artificial intelligence, numerical tools, virtual assistants, intelligent agents, numerical technologies of the future in geology.*

REFERENCES

1. Top 10 Emerging Technologies of 2024.
URL: <https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-2024/>
2. Naumova V.V., Patuk M.I., Yeryomenko A.S., Zagumyonnov A.A., Yeryomenko V.S. Tsifrovie tekhnologii budushchego — sovremennie resheniya v naukakh o Zemle // Geoinformatika. 2024. № 3. S. 53–63.
3. Markov K.N., Zhukov K.A., Koneva A.A., Kostileva T.V. Raspredelennii bank geologo-geofizicheskoi informatsii VNIGNI kak sostavnaya chast Yedinogo

fonda geologicheskoi informatsii otrasi// Geologiya nefti i gaza. 2021. №3. S. 67-76.

4. Q-CTRL Partners with USGS to Pioneer Quantum Sensing and Computing Applications, URL: <https://q-ctrl.com/blog/q-ctrl-partners-with-usgs-to-pioneer-quantum-sensing-and-computing-applications>

5. *Naumova V.V., Zagumennov A.A., Eremenko V.S.* Digital Tools and Virtual Assistants to Support Scientific Research in Geology // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2024. Vol. 58, Suppl. 5. P. S287–S291.

6. *Naumova V.V., Yeremenko V.S., Zagumennov A.A., Patuk M.I.* Nauchnii portal Geologyscience.ru: tekushchee sostoyanie i perspektivi razvitiya // Geoinformatika. 2023. № 3. S. 33–43.

7. *Patuk M.I., Naumova V.V.* Sravnitelni analiz tekstov geologicheskikh publikatsii s is-polzovaniem bolshikh yazikovikh modelei // Tsifrovie tekhnologii budushchego — sovremennie resheniya v naukakh o Zemle ITES-2025: Materiali VII Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnim uchastiem, Vladivostok, 22–26 sentyabrya 2025 g. / sost. A.A. Streltsova. Vladivostok: Izdatelstvo Dalnevostochnogo federalnogo universiteta, 2025. S. 23

8. *Zagumennov A.A., Naumova V.V.* Servisi na osnove metodov iskusstvennogo intellekta dlya podderzhki nauchnikh issledovanii v geologii // Materiali Mezhdunarodnoi konferentsii «Marchukovskie nauchnie chteniya 2024» (MNCh-2024), 7–11 oktyabrya 2024 g., Akademgorodok, Novosibirsk, Rossiya. S. 125.

9. *Eremenko V.S., Naumova V.V.* Multiagentnaya sistema – AI virtualnii soavtor geologa-issledovatelya // Tsifrovie tekhnologii budushchego — sovremennie resheniya v naukakh o Zemle ITES-2025: Materiali VII Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnim uchastiem, Vladivostok, 22–26 sentyabrya 2025 g. / sost. A.A. Streltsova. Vladivostok: Izdatelstvo Dalnevostochnogo federalnogo universiteta, 2025. S. 22.

10. *Eremenko A.S.* Metavselennaya «Istoriya Zemli» – novii vzglyad na popularizatsiyu geologicheskikh znanii // Russian Digital Libraries Journal. 2025. Tom 28, № 1, S. 1–21. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2025-28-1-2-21>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



НАУМОВА Вера Викторовна – д. г.-м. н., г. н. с., зав. Научным отделом Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, Москва.

Vera V. NAUMOVA – Prof., head of SGM scientific department, Vernadsky State Geological Museum RAS, Moscow.

email: naumova_new@mail.ru,

ORCID: 0000-0002-3001-1638



ПАТУК Михаил Иванович – к. г.-м. н., н. с., научный отдел Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия.

Michail I. PATUK – PhD, scientific department, Vernadsky State Geological Museum RAS, Moscow (Russia).

email: patuk@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3036-2275



ЕРЕМЕНКО Александр Сергеевич – программист (внештатный сотрудник), Государственный Геологический музей им. В.И. Вернадского РАН; старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия.

Alexander EREMENKO – contract programmer at the SGM scientific department, Vernadsky State Geological Museum RAS, Moscow (Russia); Ph.D, Senior researcher of Institute of automatic and control processes of FEB RAS, Vladivostok (Russia).

email: academy21@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1923-8417

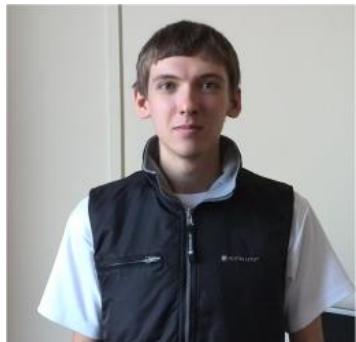


ЗАГУМЁННОВ Алексей Андреевич – программист (внештатный сотрудник), Государственный Геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва; младший научный сотрудник, Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток.

Aleksey A. ZAGUMENNOV – contract programmer at the SGM scientific department, Vernadsky State Geological Museum RAS, Moscow; Junior researcher of Institute of automatic and control processes of FEB RAS, Vladivostok.

email: truepikvic@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0501-5362



ЕРЕМЕНКО Виталий Сергеевич – научный сотрудник, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва.

Vitaliy S. EREMENKO – researcher at the SGM scientific department, Vernadsky State Geological Museum RAS, Moscow.

email: vitaer@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5250-5743

Материал поступил в редакцию 20 октября 2025 года