

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СФЕРЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

В. С. Еременко¹ [0000-0002-5250-5743], В. В. Наумова² [0000-0002-3001-1638]

^{1, 2}Государственный геологический музей им. В. И. Вернадского РАН, г. Москва, Россия

¹vitaer@gmail.com, ²naumova_new@mail.ru

Аннотация

Предложен новый подход к построению территориально-распределенных информационных систем на основе мультиагентной архитектуры, позволяющий отказаться от жесткой унификации протоколов и каталогизации ресурсов в пользу динамической интеграции источников данных. Ключевым элементом системы является агент верификации, обеспечивающий проверку достоверности результатов научных исследований через формальный контроль и использование нескольких больших языковых моделей. Разработанный прототип, реализованный на платформе GeologyScience.ru, устраняет недостатки существующего ИИ-ассистента, связанные с галлюцинациями и недостоверностью информации, и создает основу для накопления проверенных знаний.

Ключевые слова: мультиагентные системы, территориально-распределенные информационные системы, верификация результатов, большие языковые модели (LLM), ИИ-агенты.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках классического подхода к построению территориально-распределенных информационных систем широкое распространение получили решения, основанные на стандартизованных протоколах доступа, унифицированных форматах метаданных и централизованной каталогизации ресурсов [1]. Однако стремительное развитие технологий искусственного интеллекта, в частности автономных агентов, открывает возможность отказаться от жесткой предварительной унификации: агент способен динамически интерпретировать семантику разнородных источников данных, компенсируя отсутствие единого протокола до-

1.1. Цифровая экосистема и виртуальный ассистент

Ранее в рамках развития платформы GeologyScience.ru [4] был реализован и апробирован подход к организации цифрового рабочего пространства геолога-исследователя [5]. Пользователю предоставляется единая точка входа в формате виртуального рабочего кабинета, в котором отображаются доступные данные и сервисы обработки данных. Поиск данных осуществляется по территориально-распределенным источникам геологических данных с возможностью визуализации и сохранения данных в личном кабинете пользователя (рис. 1). Функциональность системы расширяется за счет подключения плагинов.



Рис. 1. Интерфейс виртуального рабочего кабинета пользователя.

Развитием этого подхода стала разработка виртуального ИИ-ассистента геолога-исследователя (рис. 2) [6, 7]. Целью настоящей разработки является предоставление пользователю возможности уточнения вопросов, связанных с темой его научного исследования, у ИИ-ассистента в формате текстового чата. В качестве базовой языковой модели при создании ИИ-ассистента использовалась большая языковая модель (LLM) DeepSeek R1 (<https://deepseek.com>).

ИИ-ассистент на основе данных, использованных при обучении модели, и набора системных промптов, написанных нами, предлагает пользователю рекомендации по теме его исследования, включающие информацию об авторах публикаций по теме исследования, применяющихся методов и подходов к решению похожих задач и т. д. Более подробно каждый из этапов развития системы описан авторами в [8].

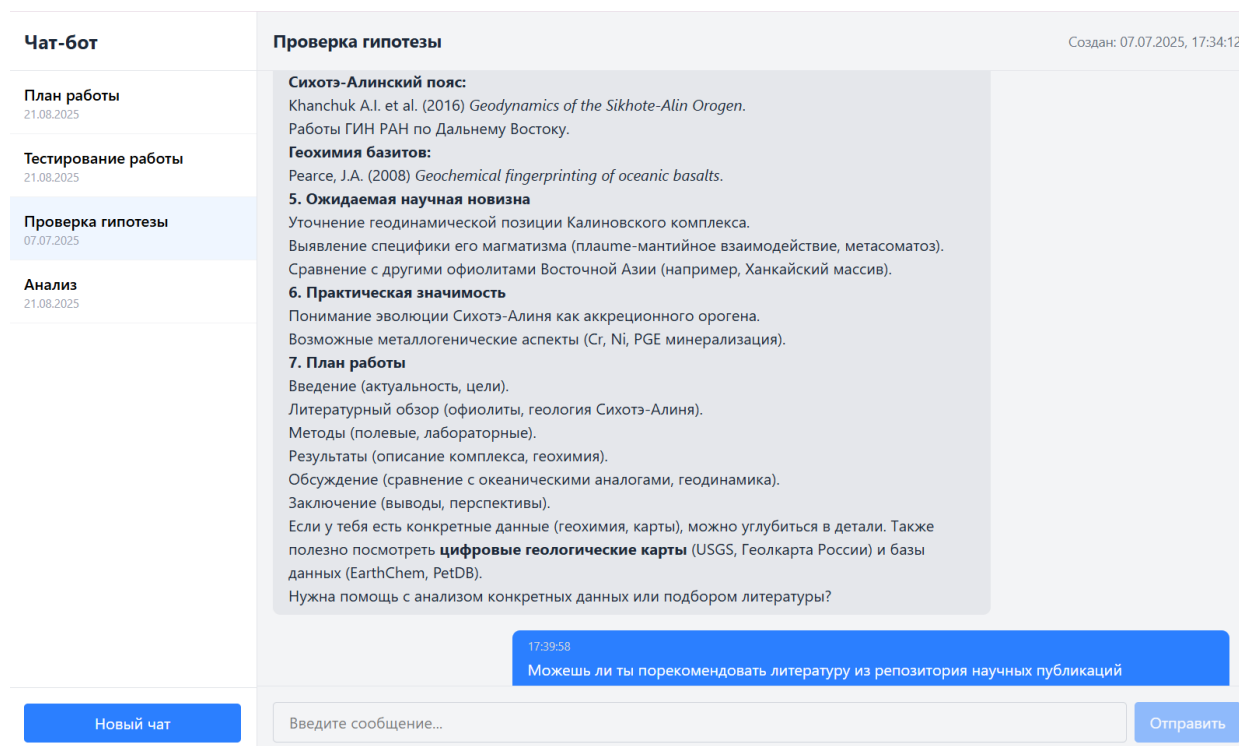


Рис. 2. Интерфейс чат-бота виртуального ассистента.

1.2. Недостатки настоящего подхода

В процессе эксплуатации ИИ-ассистента выявился ряд недостатков, среди которых можно выделить некоторую недостоверность информации, предлагаемой ИИ-ассистентом в ряде случаев, например использование несуществующих научных публикаций или информации о содержимом конкретной публикации. Кроме того, применение заранее обученной большой языковой модели без использования механизмов дообучения не позволяет получать актуальные данные по теме исследования. Кроме того, ИИ-ассистент не взаимодействует с имеющимися в доступе в информационно-аналитической среде geologyscience.ru территориально-распределенными сервисами для поиска актуальных данных

по теме исследования, размещенных в репозиториях и информационных системах. Для решения этих задач было решено перейти к агентно-ориентированной архитектуре, позволяющей при необходимости вызывать сторонние сервисы по поиску и обработке геологических данных, для предоставления пользователю актуальной информации из достоверных источников.

1.3. Агентно-ориентированный подход

Агентно-ориентированный подход предполагает использование ИИ-агентов с разделением по функциям и ролям. В основе ИИ-агента лежит LLM, которая позволяет агенту анализировать полученную от пользователя или другого агента задачу и выполнять ряд действий для ее решения, которые сложно заранее предвидеть. ИИ-агент может использовать доступные ему инструменты, например сервисы для поиска или обработки геологических данных, чтобы потом на основе полученного результата выдать пользователю ответ на поставленную задачу. В случае использования нескольких ИИ-агентов одним из подходов к организации их работы является использование мультиагентных систем (рис. 3). В таких системах ИИ-агенты общаются между собой либо получают задания от агента-оркестратора, в зависимости от выбранной архитектуры, для координированного решения поставленных задач.

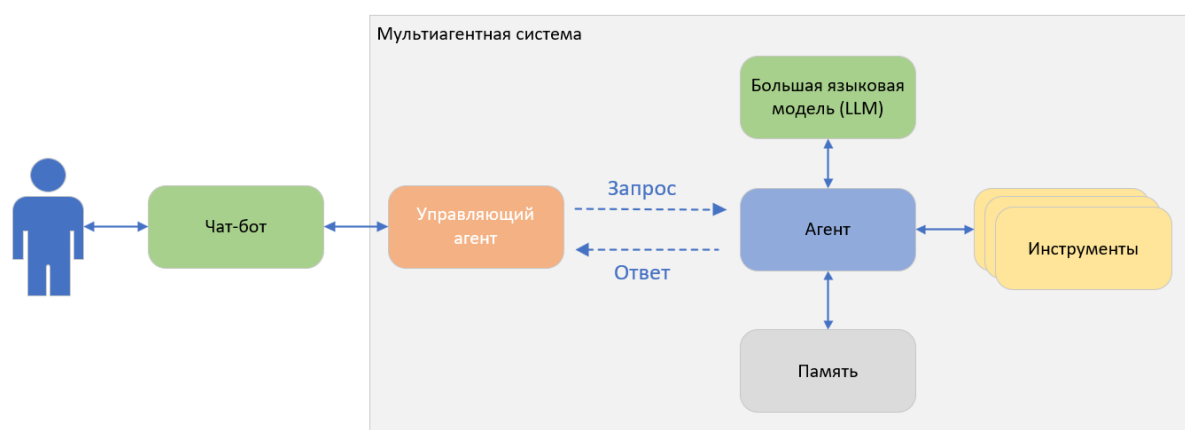


Рис. 3. Упрощенная схема взаимодействия в мультиагентной системе.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

2.1. Требования к системе

На основе анализа недостатков предыдущей реализации и современных подходов к построению мультиагентных систем были сформулированы функциональные требования к новой архитектуре:

- обработка и интерпретация пользовательских запросов на естественном языке;
- автоматический поиск требующихся для исследователя данных и вызов сервисов обработки;
- агрегация полученных результатов и формирование протокола исследования;
- верификация полученных результатов и накопление знаний.

Для реализации этих требований предложено использовать мультиагентную архитектуру системы с отдельным агентом-оркестратором, который разбивает сложную задачу на подзадачи и назначает исполнителей из числа доступных специализированных агентов. Каждый агент должен уметь обращаться к сервисам поиска, анализа и визуализации геологических данных, которые имеют четкие интерфейсы вызова и форматы возвращаемых результатов.

Для валидации полученных в процессе работы системы результатов предложена реализация отдельного ИИ-агента верификации. Такой агент при необходимости будет проверять результаты, полученные от других агентов, и искать в них возможную недостоверную информацию. Для повышения качества работы такого агента предложено использование нескольких различных LLM-моделей. В случае обнаружения ошибок или аномалий система должна инициировать повторное выполнение задания или запросить уточнение у пользователя. Кроме того, система должна обеспечивать накопление верифицированных протоколов выполнения для последующего использования в сходных запросах, тем самым постепенно повышая свою эффективность. Важным нефункциональным требованием выступает масштабируемость: добавление новых сервисов в каталог не должно требовать модификации ядра мультиагентной системы.

2.2. Функциональная схема

Предлагаемая мультиагентная система построена вокруг четырех основных функциональных блоков (рис. 4).

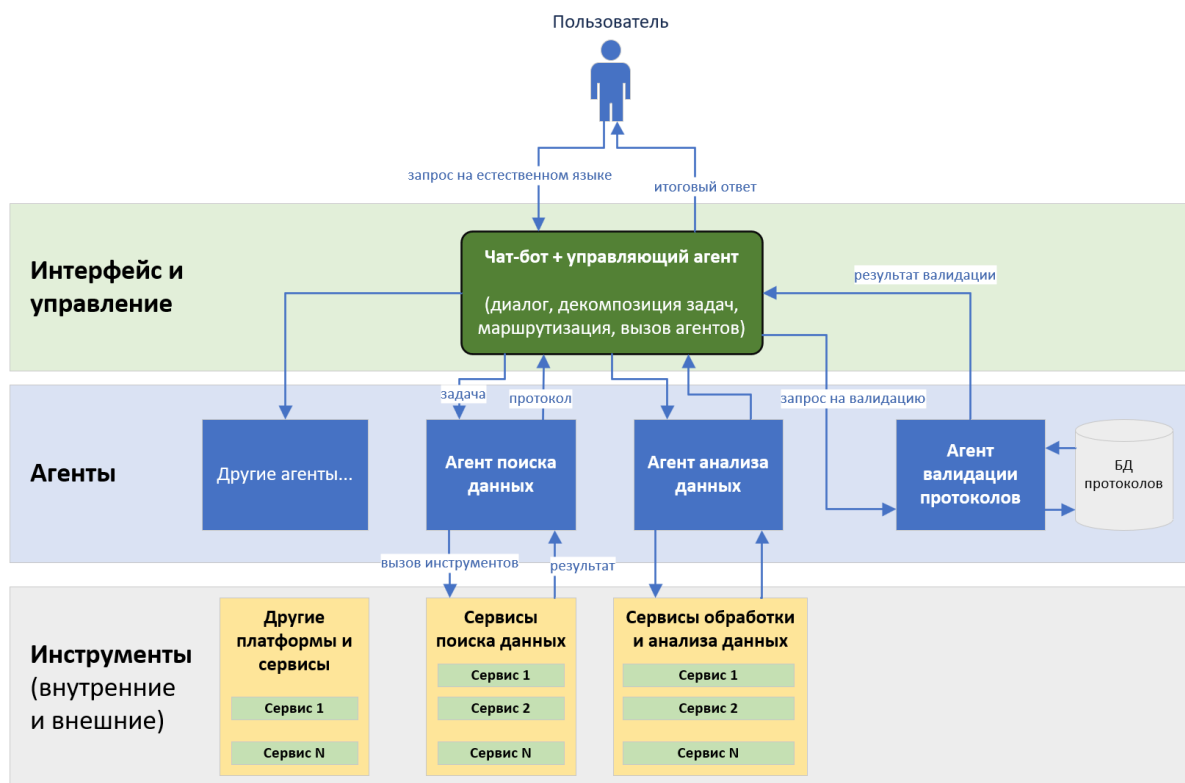


Рис. 4. Схема предлагаемой архитектуры мультиагентной системы.

Первый блок – это пользовательский интерфейс, который обеспечивает диалог с исследователем на естественном языке и отображает результаты работы сервисов, включая визуализации и ссылки на скачивание данных. Вторым блоком выступает оркестратор, или управляющий агент. Он принимает запрос пользователя, интерпретирует его, формирует план выполнения и последовательно передает управление специализированным агентам. Третий блок – это набор исполнительских агентов, каждый из которых закреплен за определенным типом сервисов: агент поиска данных обращается к каталогу публикаций и геологических коллекций, агент анализа запускает вычислительные сервисы обработки геохимических или пространственных данных, агент визуализации отвечает за построение графиков и карт. Четвертым блоком является агент верификации, который получает результаты каждого выполненного действия, проверяет их на соответствие формальным критериям (наличие обязательных полей,

отсутствие критических ошибок выполнения) и при необходимости запускает повторное выполнение или помечает результат как недостоверный. По мере надобности агенты взаимодействуют через шину сообщений, а каталог сервисов хранится в отдельном реестре, доступном для чтения каждому агенту.

2.3. Описание основных компонентов системы

Оркестратор является центральным компонентом, реализованным на базе LLM с поддержкой рассуждений. Его задача заключается в том, чтобы удерживать контекст диалога, сформировать план действий, выбрать подходящего исполнительского агента и обработать возвращенные после верификации результаты.

Исполнительские агенты представляют собой узкоспециализированные программные модули, каждый из которых знает, как обратиться к конкретной группе сервисов из каталога, сформировать корректный запрос к API и интерпретировать стандартизированный ответ. Например, агент поиска данных умеет работать с текстовыми поисковыми движками, агент обработки – с WPS-сервисами (Web Processing Service), агент визуализации – с библиотеками построения графиков и карт.

Агент верификации проверяет результаты, полученные при выполнении задачи. При успешной проверке протокол выполнения (запрос, какой сервис вызывался, с какими параметрами, какой получен результат) сохраняется в базе знаний. Этот накопленный материал может использоваться в будущем для ускорения обработки аналогичных запросов или автоматического формирования рекомендаций.

3. РАЗРАБОТКА, ТЕСТИРОВАНИЕ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Используемые технологии для реализации компонентов

При разработке прототипа мультиагентной системы был проведен анализ инструментов с открытым исходным кодом для построения таких систем (табл. 1).

Табл. 1. Сравнение инструментов для реализации мультиагентных систем.

Критерий	LangFlow	LangGraph	CrewAI	AutoGen	Smolagents
Визуальный конструктор	Да	Нет (интегрируется)	Нет	Да (Studio)	Нет
Готовый чат-интерфейс	Да	Нет	Нет	Да	Нет
Развертывание как API	Да	Да	Да	Да	Да
Поддержка многоагентности	Да	Да	Да	Да	Частично
Активность проекта	Активный (MIT)	Активный (MIT)	Активный (MIT)	Режим поддержки	Активный (Apache)

Практически каждый из этих инструментов удовлетворяет поставленным критериям и позволяет решить поставленную задачу, поэтому выбор был сделан в пользу платформы LangFlow (<https://www.langflow.org>) как инструменту с наиболее низким порогом входа (рис. 5). Эта платформа предоставляет ряд готовых компонентов для создания мультиагентной системы, что упрощает и ускоряет разработку прототипа системы на основе предложенного подхода. В качестве базовой LLM для ИИ-агентов был выбран DeepSeek V4. Для реализации пользовательского интерфейса использован фреймворк Vue 3 (<https://vuejs.org>).

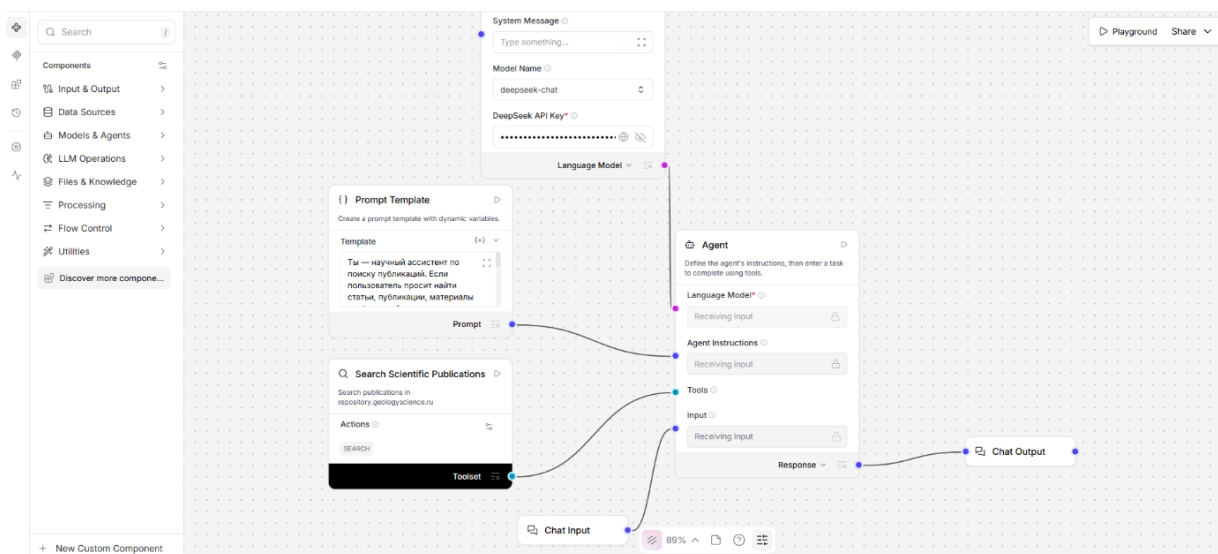


Рис. 5. Пользовательский интерфейс платформы Langflow.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектирована и реализована мультиагентная архитектура, которая устраняет выявленные недостатки существующего ИИ-ассистента за счет перехода от статической модели к динамической интеграции распределенных сервисов. Предложенный подход заключается в децентрализации функций: оркестратор формирует план исследования, исполнительские агенты обращаются к актуальным источникам данных (репозиториям, WPS-сервисам, каталогам публикаций) и сервисам анализа и обработки геологических данных [9], а агент верификации обеспечивает контроль достоверности на основе формальных проверок и сравнения результатов нескольких моделей. Решение для верификации, реализованное в рамках системы, позволяет не только выявлять галлюцинации LLM и фактические ошибки, но и накапливать подтвержденные протоколы, что трансформирует систему из простого чат-бота в инструмент научного исследования с функцией прослеживаемости результатов.

Благодарности

Работа выполняется 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. Жижимов О.Л., Мазов Н.А. Принципы построения распределенных информационных систем на основе протокола Z39.50. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2004. 361 с.
2. *Gottweis J. et al. Towards an AI co-scientist // Arxiv.org. 2025.*
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.18864>
3. Наумова В.В., Патук М.И., Еременко В.С., Загуменнов А.А., Еременко В.С. Цифровые технологии будущего для научных исследований в геологии // Электронные библиотеки. 2025. Том 28, № 4. С. 788–805.
4. 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.
5. Еременко В.С., Наумова В.В., Загуменнов А.А. Разработка виртуальных пространств с интеллектуальным адаптивным интерфейсом для цифровых геологических систем // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2024. № 1 (33). С. 146–153.
6. Еременко В.С., Наумова В.В. Виртуальный ассистент геолога-исследователя // Электронные библиотеки, 2025, Том 28, № 4. С. 781–787.
7. *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.*
8. 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.
9. Патук М.И., Наумова В.В. Анализ текстов геологических публикаций с использованием больших языковых моделей // Электронные библиотеки. 2025. Т. 28, № 4. С. 806–821.

MULTI-AGENCY SYSTEM FOR DIGITAL INTELLIGENCE IN GEOLOGICAL KNOWLEDGE

V. S. Eremenko¹ [0000-0002-5250-5743], V. V. Naumova² [0000-0002-3001-1638]

^{1, 2}*Vernadsky State Geological Museum of Russian Academy of Sciences, Moscow*

¹vitaer@gmail.com, ²naumova_new@mail.ru

Abstract

A new approach to building geographically distributed information systems based on a multi-agent architecture is proposed. This approach eliminates the rigid unification of protocols and resource cataloging in favor of dynamic integration of data sources. A key element of the system is a verification agent, which verifies the validity of scientific research results through formal control and the use of multiple LLMs. The developed prototype, implemented on the GeologyScience.ru platform, eliminates the shortcomings of the existing AI assistant related to hallucinations and unreliability of information and creates a foundation for accumulating verified knowledge.

Keywords: *multi-agent systems, geographically distributed information systems, verification of results, large language models (LLM), AI agents.*

REFERENCES

1. Zhizhimov O.L., Mazov N.A. Principy postroeniya raspredelennykh informatsionnykh sistem na osnove protokola Z39.50. Novosibirsk: OIGGM SO RAN, 2004. 361 s.
2. Juraj Gottweis et al. Towards an AI co-scientist // Arxiv.org. 2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.18864>
3. Naumova V.V., Patuk M.I., Eremenko A.S., Zagumennov A.A., Eremenko V.S. Cifrovye tehnologii budushhego dlja nauchnykh issledovaniy v geologii // Russian Digital Libraries Journal. 2025. Tom 28, № 4. S. 788–805.
4. Naumova V.V., Eremenko V.S., Zagumennov A.A., Patuk M.I. Nauchnyj portal Geologyscience.ru: tekushhee sostojanie i perspektivy razvitiya // Geoinformatika. 2023. № 3. S. 33–43.

5. *Eremenko V.S., Naumova V.V., Zagumennov A.A.* Razrabotka virtual'nyh prostanstv s intellektual'nym adaptivnym interfejsom dlja cifrovych geologicheskikh sistem // *Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii*. 2024. № 1 (33). P. 146–153.

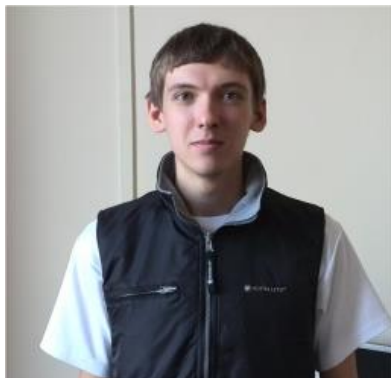
6. *Eremenko V.S., Naumova V.V.* Virtualnyj assistent geologa-issledovatelja // *Russian Digital Libraries Journal*. 2025. Tom 28, № 4. S. 781–787.

7. *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.

8. *Eremenko V.S., Naumova V.V.* Multiagentnaja sistema – AI virtualnyj soavtor geologa-issledovatelja // *Cifrovye tehnologii budushhego — sovremennye reshenija v naukah o Zemle ITES-2025: Materialy VII Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Vladivostok, 22–26 sentjabrja 2025 g. / sost. A.A. Strel'cova. Vladivostok: Izdatelstvo Dalnevostochnogo federalnogo universiteta, 2025. S. 22.*

9. *Patuk M.I., Naumova V.V.* Analiz tekstov geologicheskikh publikacij s ispolzovaniem bolshih jazykovyh modelej // *Russian Digital Libraries Journal*. 2025. Tom 28, № 4. S. 806–821.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



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

Vitaliy Sergeevich EREMENKO – researcher at the SGM scientific department, Vernadsky State Geological Museum of Russian Academy of Sciences, Moscow.

email: vitaer@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5250-5743



НАУМОВА Вера Викторовна – доктор геологическо-минералогических наук, главный научный сотрудник, зав. Научным отделом Государственного геологического музея им. В. И. Вернадского РАН, Москва.

Vera Viktorovna NAUMOVA – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, chief researcher and head of the Scientific Department of the Vernadsky State Geological Museum of Russian Academy of Sciences, Moscow.

email: naumova_new@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3001-1638

Материал поступил в редакцию 20 июля 2026 года