

Научная статья

УДК 681.5:550.84.05

doi:10.52349/0869-7892_2026_106_69-78

**Автоматизация процессов обработки
и представления результатов
геохимических поисковых работ****С. А. Баранова¹✉, С. А. Терешкин²,
А. В. Блинов¹, С. Н. Просекин¹**¹ Институт геохимии им. А. П. Виноградова
Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия,
s.baranova@igc.irk.ru✉² Иркутский национальный исследовательский
технический университет, Иркутск, Россия**Ключевые слова:** геоинформационные системы, химико-аналитические данные, статистический анализ, QGIS, геолого-геохимические исследования**Благодарности:** исследование проведено в рамках выполнения государственного задания Института геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук по Проекту № 0284-2026-0009.**Для цитирования:** Баранова С. А., Терешкин С. А., Блинов А. В., Просекин С. Н. Автоматизация процессов обработки и представления результатов геохимических поисковых работ // Региональная геология и металлогения. 2026. Т. 33, № 2. С. 69–78. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2026_106_69-78

Original article

UDC 681.5:550.84.05

doi: 10.52349/0869-7892_2026_106_69-78

Keywords: geographic information systems, chemical and analytical data, statistical analysis, QGIS, geological and geochemical studies**Acknowledgments:** Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences supported the national research (project no. 0284-2026-0009).**For citation:** Baranova S. A., Tereshkin S. A., Blinov A. V., Prosekin S. N. (2026). Computer-assisted processing and visualizing of geochemical exploration results. *Regional Geology and Metallogeny*, 33(2), 69–78. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2026_106_69-78© Баранова С. А., Терешкин С. А.,
Блинов А. В., Просекин С. Н., 2026**Аннотация.** В статье представлена разработка программного модуля “Geochemistry processes”, интегрированного в среду геоинформационной системы QGIS. Данный модуль позволяет реализовать полный цикл обработки геохимических данных, включая операции по первичной обработке, оценке качества аналитической информации, статистическому анализу и итоговой визуализации с автоматизированным построением рисунков и карт. Апробация модуля подтвердила его эффективность: доказано сокращение временных и трудовых затрат, минимизация количества ошибок, исключение избыточных операций и обеспечение целостности рабочего процесса. Предложенное решение обладает высокой практической значимостью, вносит вклад в развитие цифровых методов в геологии и готово к внедрению в производственные процессы геологоразведочных организаций.**Computer-assisted processing
and visualizing
of geochemical exploration results****S. A. Baranova¹✉, S. A. Tereshkin²,
A. V. Blinov¹, S. N. Prosekin¹**¹ Vinogradov Institute of Geochemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia,
s.baranova@igc.irk.ru✉² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia**Abstract.** The paper presents development of the “Geochemistry processes” software module integrated in the QGIS geographic information system environment. This module enables the full cycle of geochemical data processing, including pre-processing, analytical data quality assessment, statistical analysis, and final visualization, with figures and maps automatically generated. The module field testing confirmed its effectiveness: it was proven to reduce time and labor costs, minimize errors, prevent from duplicated operations, and ensure workflow integrity. The solution proposed is of high practical value, contributes to development of digital methods in geology, and is ready to be integrated in geological exploration organizations’ operational processes.

ВВЕДЕНИЕ

Поисковая геохимия играет ключевую роль в современной геологоразведке. Она позволяет выявлять скрытые рудные объекты по вторичным ореолам и потокам рассеяния даже при низкой плотности опробования (Блинов и др., 2021; Ефремов и др., 2021). Результатом таких работ являются массивы данных с содержаниями химических элементов, точность и полнота интерпретации которых напрямую зависят от качества цифровой обработки.

Практическая реализация этапов обработки химико-аналитических данных не обеспечивает целостности рабочего процесса, несмотря на четкую регламентацию в действующих методических рекомендациях (*Инструкция*, 1983; Морозов и др., 2023; Соколов и др., 2005, 2025; Соловов, 1985¹). Каждый этап — от создания первичной базы аналитических данных до построения отчетных карт — традиционно выполняется в отдельных программных продуктах: табличных редакторах, специализированных статистических пакетах, графических редакторах и геоинформационных системах (далее — ГИС). Такой подход увеличивает трудоемкость работ, создает риски потерь данных, дублирования операций и возникновения ошибок при ручном переносе информации между программными средствами.

Целью данного исследования является интеграция всех этапов обработки в единую программную среду с повышением автоматизации и сохранением методологической строгости. Для решения этой задачи был разработан модуль “Geochemistry processes” для QGIS. Выбор данной ГИС обусловлен ее мощным функционалом для работы с геоданными, развитыми возможностями картографической визуализации и открытой архитектурой, позволяющей создавать специализированные расширения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методологическую основу исследования составляют действующие инструкции и методические рекомендации по обработке химико-аналитических данных при проведении площадных геохимических работ (*Инструкция*, 1983; Морозов и др., 2023; Соколов и др., 2005, 2025; Соловов, 1985¹). Традиционный цикл обработки аналитических данных включает ряд обязательных последовательных процедур, каждая из которых имеет строго определенное назначение:

1. Первичная обработка. Подразумевает консолидацию лабораторных протоколов и подготовку основной базы данных.

2. Оценка качества первичной аналитической информации. Включает расчет систематической и случайной погрешностей по парам «рядовая–контрольная проба», а также учет и снятие влияния аналитического дрейфа и систематических расхождений между результатами различных серий анализа проб. Данные операции необходимы для проверки кондиционности полученных данных и повышения

надежности выделения аномального геохимического поля.

3. Статистическая обработка результатов аналитических исследований. Выполняется для оценки параметров геохимического фона, установления аппроксимирующего закона распределения, стандартизации данных, выявления статистических зависимостей.

4. Картографическое представление химико-аналитических данных. Построение моно- и полиэлементных карт с учетом статистических показателей.

Решение, предлагаемое в работе, основано не на создании новых методик, а на разработке комплексного подхода с использованием существующих методов.

В качестве исходных материалов выступают массивы аналитических данных, полученные авторами в ходе проведения площадных геохимических работ (Будяк и др., 2022, 2025; Ефремов и др., 2021). Результаты химико-аналитических исследований принадлежат различным лабораториям и имеют собственную внутреннюю структуру, что позволило проверить универсальность разработанного модуля “Geochemistry processes” на практике. Автоматизация процессов обработки химико-аналитических данных в единой среде позволяет исключить избыточные операции, обеспечить целостность рабочего процесса и перенести акцент специалиста с технических процедур на содержательную геологическую интерпретацию.

Программная реализация выполнена на языке программирования Python в виде модуля для геоинформационной системы QGIS (версия 3.40 и выше), что обеспечивает совместимость с распространенными форматами данных (*.txt, *.xlsx, *.shp) и доступность инструмента для геологоразведочных организаций.

На текущей стадии разработки программный модуль представляет собой специализированное решение, жестко реализующее алгоритмы и процедуры, детально описанные в гл. «Результаты и обсуждение». Механизмы адаптации под частные требования пользователя в данной версии не предусмотрены. Однако архитектура модуля закладывается с учетом будущего создания узкоспециализированных инструментов, что позволит гибко настраивать функционал без глубокой переработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанный модуль реализует полный цикл обработки геохимических данных и состоит из трех функциональных блоков: Processing, Statistics и Layouts (рис. 1).

Блок Processing (рис. 2) отвечает за первичную обработку данных и включает в себя процедуру объединения протоколов с результатами химико-аналитических исследований и последующей оценкой качества первичной информации.

¹ Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учеб. М. : Недра, 1985. 294 с.

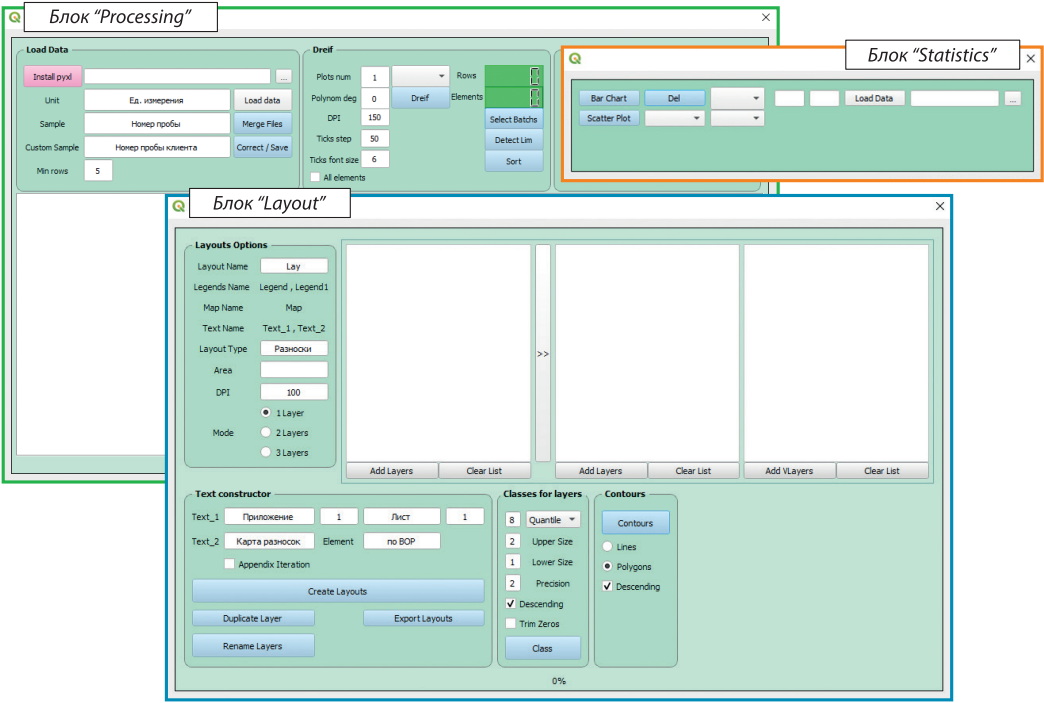


Рис. 1. Интерфейс модуля “Geochemistry processes”
Fig. 1. Interface of the “Geochemistry processes” module

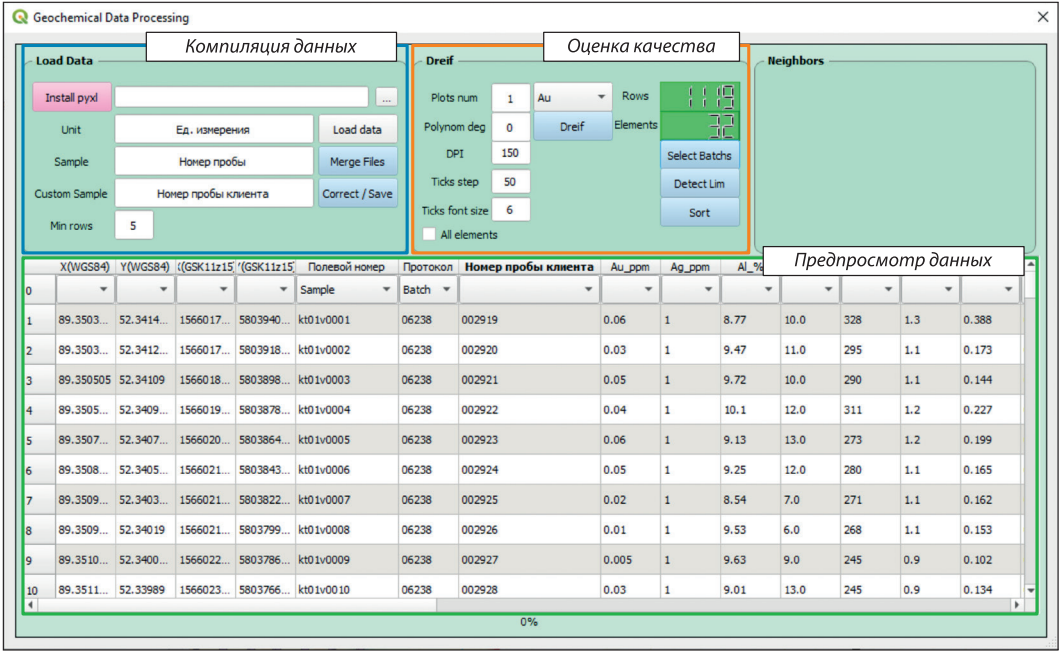


Рис. 2. Блок первичной обработки данных “Processing”
Источник: по Терешкину и др. (2024)*

Fig. 2. Data pre-processing unit “Processing”
Source: from Tereshkin et al. (2024)**

* Терешкин С. А., Блинов А. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024688676 : Программа для первичной обработки аналитических данных при проведении геолого-поисковых работ. Заявка № 2024686905. 29.11.2024 / правообладатели: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук.

** Tereshkin S. A., Blinov A. V. (2024, Nov. 29). Software registration certificate no. 2024688676: Software for pre-processing analytical data during geological exploration. Application no. 2024686905 / copyright holders: Federal State Budget Institution of Higher Education “Irkutsk National Research Technical University”, Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Важно отметить, что данный модуль является частью комплексного подхода к обработке, а не самостоятельным средством, и ориентирован конкретно на обработку данных в связке с оператором-обработчиком. Предполагается, что все исходные данные проходят ручную предобработку специалистом, который приводит их к регламентированному формату. Это позволило сфокусировать модуль на вычислительных процедурах, исключив риски некорректного принятия решений при неоднозначных исходных данных.

Функция объединения протоколов осуществляет консолидацию данных химико-аналитической лаборатории с автоматическим приведением к необходимой структуре, формируя готовую базу данных, пригодную для дальнейшей обработки. При этом значения, выходящие за пределы чувствительности аналитического метода, корректируются по принятым методикам: содержания ниже нижнего предела обнаружения (далее — НПО) заменяются на половину этого предела ($0,5 \times \text{НПО}$), содержания выше верхнего предела обнаружения (далее — ВПО) — на $1,2 \times \text{ВПО}$ (Морозов и др., 2023; Несмеянова и др., 2023). В традиционной практике эта операция выполняется вручную в табличных редакторах и при большом количестве лабораторных протоколов занимает значительное время из-за объема данных (Баранова и др., 2024). В разработанном модуле данная задача решается за несколько секунд и исключает риск ошибок, связанных с человеческим фактором. Сводная таблица химико-аналитических данных формируется в стандартизированном виде, пригодном для загрузки в ГИС-проект, что позволяет без промежуточных этапов и смены программных средств перейти к следующему этапу — оценке качества первичной информации.

Оценка качества первичных аналитических данных, согласно общепринятой практике, обычно выполняется в универсальных программах, таких как Excel, Golden Software Grapher или SciDAVis. Однако этот подход сопряжен со значительными временными и трудовыми затратами, поскольку выполнение всех математических расчетов в большей степени зависит от квалификации исполнителя и его владения инструментами выбранных программных средств. Использование разработанного модуля “Geochemistry processes” позволяет автоматизировать весь процесс оценки качества, что существенно сокращает время обработки, оставляя за пользователем лишь процесс принятия решений.

Расчет систематической и случайной погрешностей выполняется в парах «рядовая–контрольная проба». Программа сопоставляет соответствующие пробы, производит необходимые вычисления и выводит итоговую таблицу с результатами, на основе которой принимается решение о пригодности данных для дальнейшей интерпретации.

При удовлетворительных результатах контроля качества выполняется учет систематических расхождений и плавного аналитического дрейфа между сериями анализов проб. Процедура основана на построении и анализе графиков логарифмов содержаний каждого химического элемента

в порядке проведения химико-аналитических исследований. В случае обнаружения расхождений осуществляется выбор элементов и протоколов (рис. 3), которые подвергаются коррекции по заданным в протоколах сериям проб в соответствии с действующими методиками (Макарова и др., 2008; Морозов и др., 2023). При систематических расхождениях между результатами различных серий анализа устанавливается «нулевой» порядок полинома (среднее значение содержания в партии). Для компенсации плавного аналитического дрейфа используется полином первого или второго порядка. В редких случаях, при выраженной нелинейности, могут использоваться полиномы до пятого порядка. На графике содержаний ванадия (рис. 4) представлен пример скорректированных данных. Также стоит отметить, что в рассматриваемом программном блоке предусмотрена возможность автоматической генерации итоговых графиков, оформленных в соответствии с требованиями к отчетной продукции.

Как известно, основная задача поисковой геохимии — не просто определение содержаний элементов, а выявление геохимических полей, отвечающих скрытым рудным объектам или зонам повышенной рудоносности. Для этого применяются количественная оценка геохимического фона, выделение статистически значимых отклонений и установление взаимосвязей между элементами, формирующими геохимические ассоциации. Блок “Statistics” содержит набор необходимых инструментов для решения этих задач. В настоящее время реализованы функции вывода основных статистических показателей (среднее, медиана, стандартное отклонение, коэффициент вариации и др.) для каждого элемента и построение графиков, позволяющих оценить закон распределения. Результаты этих операций служат основой для последующей стандартизации данных.

В блоке реализовано построение точечных диаграмм (scatter plots), позволяющих визуально и количественно оценивать корреляционные зависимости между элементами. Такой анализ выполняется для оценки данных в первом приближении и позволяет геологам-геохимикам получать содержательные сведения о геохимических ассоциациях еще до завершения полного цикла многомерной статистической обработки, что существенно ускоряет процесс принятия решений в ходе поисковых работ.

В настоящее время авторами ведется активная доработка блока “Statistics” с целью расширения возможностей геостатистического анализа и перевода процесса статистической обработки химико-аналитических данных в единую среду, что позволит исключить необходимость экспорта промежуточных результатов в сторонние пакеты и тем самым минимизировать риски потери данных и ошибок ручного переноса.

Завершающим этапом обработки химико-аналитических данных являются картографические построения, отображающие распределение химических элементов на изучаемых территориях и позволяющие выделять перспективные участки для дальнейшего изучения и постановки детальных геолого-геохимических и горно-буровых работ.

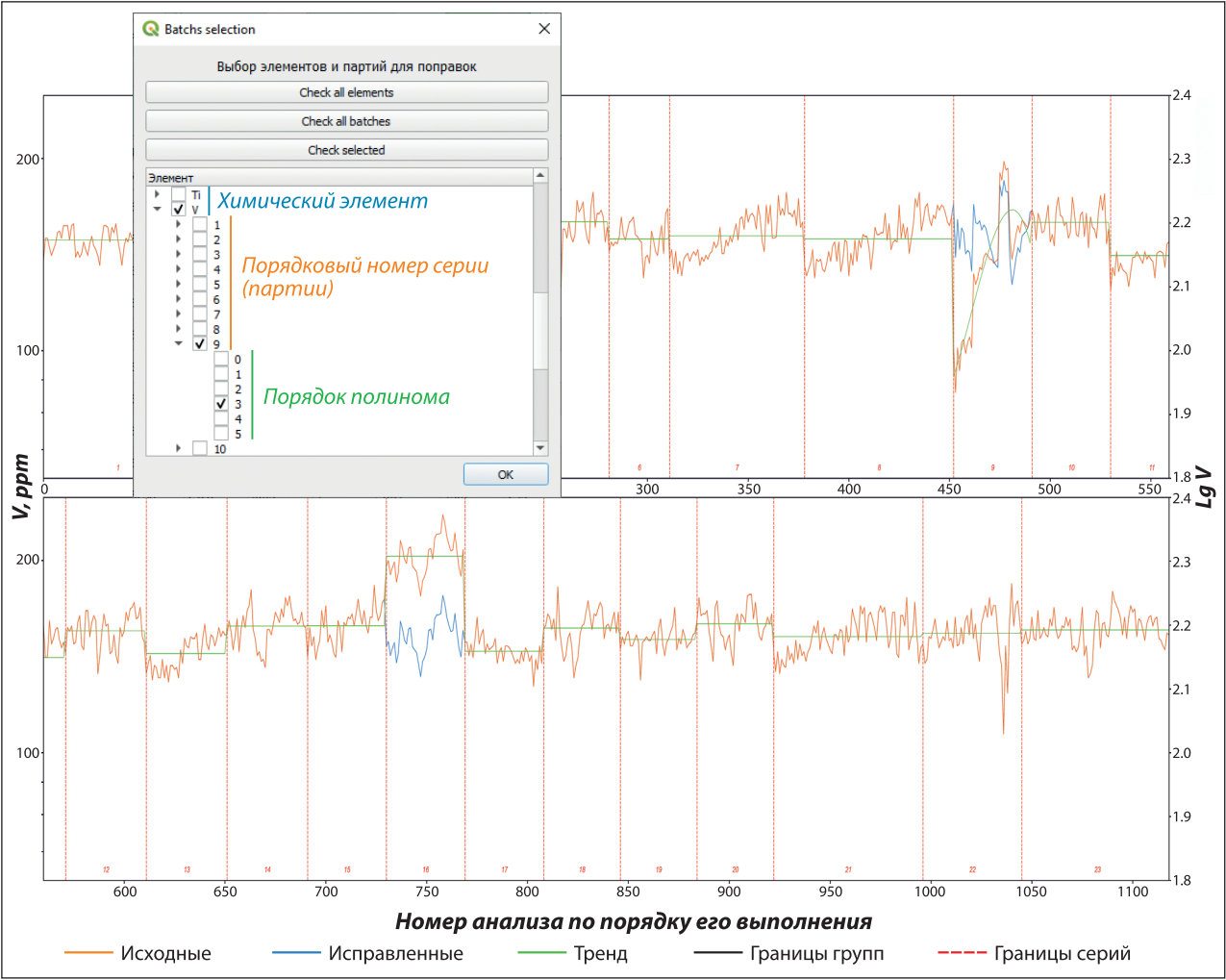


Рис. 3. График с результатами расчетов и устранения аналитического дрейфа и систематических расхождений для ванадия

Fig. 3. Graph showing the results of calculating and eliminating data drift and systematic discrepancies for vanadium

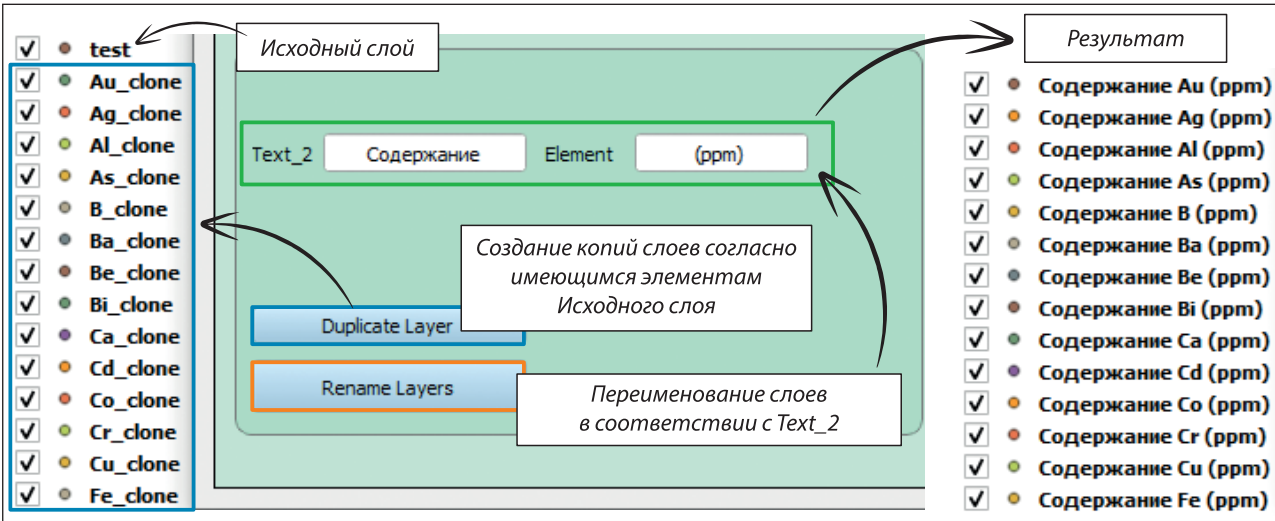


Рис. 4. Инструменты дублирования и группового переименования слоев по шаблону

Fig. 4. Tools for duplicating and group renaming of layers, using a template

Блок “Layouts” объединяет процедуры оформления и представления итоговых картографических материалов.

При построении карт содержаний элементов используется слой, содержащий исходные или стандартизованные аналитические данные. Для представления всех элементов в проекте производится копирование этого слоя с последующим переименованием в соответствии с названием элемента (рис. 4). При этом источник данных остается единым, что исключает дублирование информации и упрощает управление проектом. Логика ведения ГИС-проекта предполагает наличие четкой структуры: название каждого слоя должно отражать информацию о хранящихся в нем данных. Например, для карт точечно-символьного вида с исходными результатами аналитики по каждому элементу используется структура «Содержание Element (ед. измерения)», а для карт изоконцентрат — «Изолинии Element (ед. измерения)». Разработанный модуль позволяет массово переименовывать слои по заданному шаблону, что значительно ускоряет подготовку проекта к построению картографических материалов (рис. 4).

Моноэлементные геохимические карты в большинстве случаев строятся в двух видах: точечно-символьный (карты-разноски) и в изолиниях (карты изоконцентрат). При визуализации в точечно-символьном виде зачастую применяются многоцветные палитры одновременно с изменением размеров символа в зависимости от статистических параметров. Такое сочетание символов повышает визуальное

восприятие распределения элементов по площади работ. В настоящее время стандартные инструменты QGIS позволяют автоматически применить градуированную классификацию лишь к одному слою за раз, причем метод визуализации можно задать только один (либо по цвету, либо по размеру символа). Пользователю доступно в ручном режиме последовательно настроить и цвет, и размер, но эта операция становится крайне трудоемкой при работе с десятками элементов, так как требует повторения однотипных действий для каждого слоя отдельно.

Разработанный модуль решает эту задачу за счет групповой классификации «размер-цвет», и каждый слой получает индивидуальный стиль, адаптированный под описательные статистики конкретного элемента (рис. 5). Это обеспечивает сопоставимость карт между собой и повышает информативность представления.

Построение схем изоконцентрат на данный момент осуществляется на основе растровых слоев, полученных путем интерполяции во внешней специализированной программе — Golden Software Surfer. Выполняется данная процедура посредством специализированного скрипта (макрокоманды), позволяющего выполнять процедуру интерполяции автоматически по всем элементам одновременно, с сохранением возможности выбора входных параметров.

Использование Surfer обусловлено тем, что встроенные инструменты QGIS не обеспечивают достаточной гибкости и точности для решения геохимических задач, поскольку они изначально

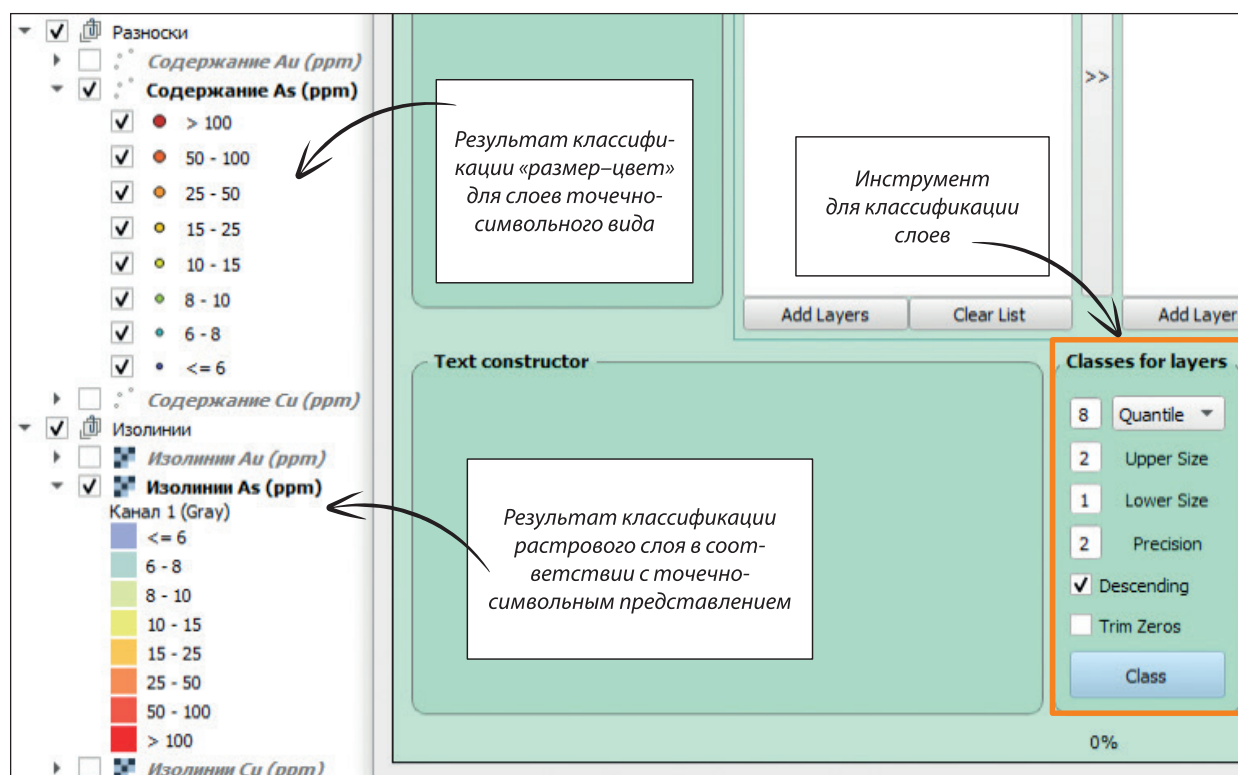


Рис. 5. Визуальное представление и оформление аналитических данных

Fig. 5. Visual presentation and design of analytical data

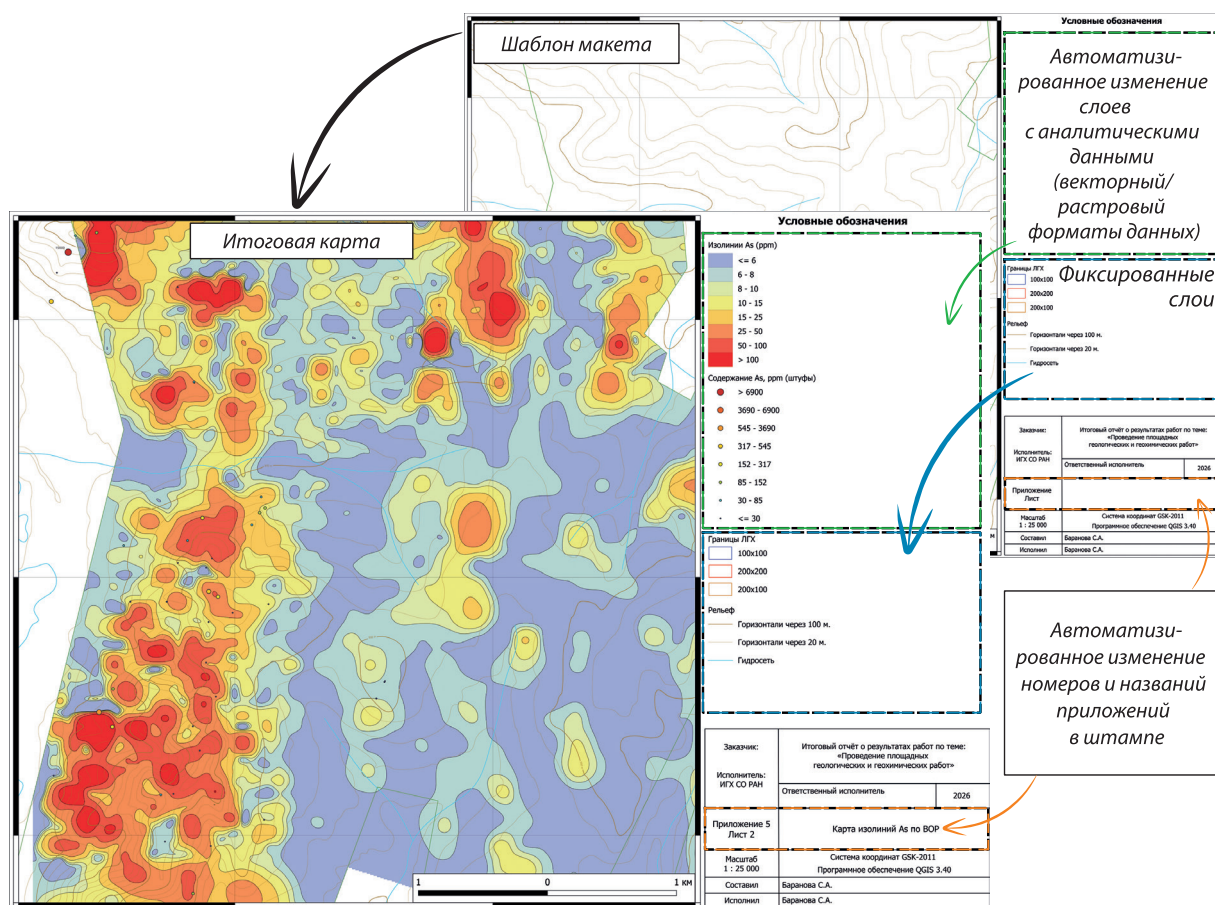


Рис. 6. Шаблонный макет и итоговое приложение

Fig. 6. Template layout and final graphic application

создавались для получения цифровых моделей рельефа, а не для интерполяции данных, характеризующихся интенсивной пространственно-временной изменчивостью. Гораздо более широкое применение находят внешние модули QGIS, такие как GRASS-геоалгоритмы и SAGA-геоалгоритмы, где в качестве интерполяторов представлены различные варианты сплайнов (радиальных базисных функций) и кригинга (Новикова и др., 2016). В ближайших планах — реализация собственного модуля интерполяции непосредственно в модуле “Geochemistry processes” (с использованием инструментария внешних интерполяционных модулей), что позволит полностью замкнуть цикл обработки в единой ГИС-среде.

При импорте результатов интерполяции в проект полученные растры автоматически стилизуются по градуированным значениям, согласованным с точечно-символьным представлением каждого элемента (с учетом его статистических параметров) для исходных данных и по равным интервалам для нормированных. Такой подход обеспечивает визуальную и методологическую согласованность между разными типами карт.

Итоговой процедурой в представлении картографических материалов является автоматизированное построение и выгрузка макетов карт, отражающих

геохимическую обстановку на изучаемой территории. Все макеты в отчетной документации однотипны, а их содержание различается исключительно отображаемым химическим элементом. В стандартной практике QGIS построение каждого макета требует ручного дублирования исходного шаблона, его переименования и последовательной замены слоев.

Разработанный модуль полностью устраняет эти типовые операции. Процедура реализуется на основе шаблонных макетов, по которым автоматически генерируется вся серия карт (рис. 6). Для этого пользователю необходимо указать название шаблонного макета, тип карт (карты-разноски или изолинии), список слоев, подлежащих итерации, а также определить способ переключения макетов (по отдельным приложениям или по листам). Дополнительно предусмотрено окно-конструктор для настройки штампа приложений. Все макеты в процессе создания автоматически выгружаются в папку с проектом в растровом формате с желаемым разрешением. Этот этап завершает полный цикл обработки — от исходных химико-аналитических данных до готового комплекта отчетных графических приложений, оформленного в соответствии с требованиями к картографической продукции и пригодного для последующей геологической интерпретации, включения в отчеты и печати (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования разработан и интегрирован в геоинформационную систему QGIS специализированный программный модуль “Geochemistry processes”, позволяющий реализовать целостный подход к камеральной обработке геохимических данных. В отличие от традиционной практики, предполагающей использование разрозненных программных средств, предложенное решение реализует в едином пространстве комплексную автоматизацию полного цикла обработки: от объединения лабораторных протоколов и оценки аналитической погрешности до статистической обработки и картографического оформления результатов. Модуль предоставляет предметно-ориентированный набор инструментов и повышает надежность обработки за счет исключения ручных расчетов и операций с данными, что минимизирует ошибки, вызванные человеческим фактором.

Практическая апробация в рамках обработки данных геохимических поисков (Будяк и др., 2025; Ефремов и др., 2024; Тарасова и др., 2023) подтвердила операционную эффективность решения: достигнуто значительное сокращение временных и трудовых затрат, а также созданы условия для смещения фокуса специалистов с технических задач на содержательную интерпретацию результатов.

Разработанный подход обладает универсальностью, представляет собой готовый инструмент для оптимизации производственных процессов в геологоразведочных организациях и вносит вклад в развитие цифровых методов обработки геохимической информации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Баранова С. А., Блинов А. В., Просекин С. Н. Использование систем хранения и управления данных для оптимизации геолого-поисковых работ // Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 47, № 2. С. 140–148. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-2-140-148>

Блинов А. В., Будяк А. Е., Тарасова Ю. И., Папкин И. В., Ильченко В. О., Никулина А. А. Сравнительная оценка геохимических методов поисков по вторичным ореолам рассеяния в сложных ландшафтно-геохимических условиях Восточного Забайкалья // Инженерная и рудная геофизика 2021 : материалы науч.-практ. конф. М. : ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ, 2021. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152132>

Будяк А. Е., Тарасова Ю. И. Роль органического углерода при формировании месторождений золота орогенного типа (Бодайбинский регион, Россия) // Геология и геофизика. 2025. Т. 66, № 7. С. 860–882. <https://doi.org/10.15372/GIG2025122>

Будяк А. Е., Ефремов С. В., Скузоватов С. Ю., Горячев Н. А., Тарасова Ю. И., Марчук О. И., Блинов А. В., Просекин С. Н., Горячев И. Н., Савченко В., Будяк А. А., Жарикова А. А., Черкашина Д. А. Комплексные исследования разнотипных рудообразующих систем в прогнозно-поисковых целях // Современные направления развития геохимии : материалы всерос. конф. (с участием зарубеж. учен.). Т. 1. Иркутск : Ин-т географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2022. С. 76–79.

Ефремов С. В., Горячев Н. А., Будяк А. Е., Скузоватов С. Ю., Блинов А. В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических

структур, контролирующих порфировые рудные объекты // Геодинамика и тектонофизика. 2024. Т. 15, № 2. С. 0750. <https://doi.org/10.5800/GT-2024-15-2-0750>

Ефремов С. В., Спиридонов А. М., Горячев Н. А., Будяк А. Е. Эволюция Карийской рудно-магматической системы (Восточное Забайкалье, Россия): опыт применения мелкомасштабной геохимической съемки // Геология рудных месторождений. 2021. Т. 63, № 3. С. 283–294. <https://doi.org/10.31857/S0016777021030047>

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М. : Недра, 1983. 191 с.

Макарова Ю. В., Марченко А. Г., Ильченко В. О. Методы обработки данных литохимических поисков по ореолам и потокам рассеяния // Разведка и охрана недр. 2008. № 4–5. С. 72–77.

Морозов М. В., Трушин С. И., Осецкий А. И., Кискин В. А., Егоров В. Н., Мелкомукоев В. В., Левочская Д. В., Долгушина И. С., Малых М. Ю., Суходольский Я. П. Инструкция по площадным геохимическим поисковым работам. СПб. : АО «Полиметалл УК», ЛЕМА, 2023. 166 с.

Несмеянова А. И., Еременко Е. Г. Алгоритм обработки данных геохимического опробования при поисках месторождений твердых полезных ископаемых // Современные техника и технологии в научных исследованиях : сб. материалов междунар. конф. Бишкек : Науч. ст. РАН в г. Бишкеке, 2023. С. 118–125.

Новикова А. М., Полонский А. Б., Новиков А. А. Сравнение возможностей интерполяционных модулей QGIS для морских климатических исследований при работе с массивом данных малой обеспеченности // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2016. Т. 22, № 1. С. 76–88.

Соколов С. В., Марченко А. Г., Макарова Ю. В., Олейникова Г. А., Шолохнев В. В. Практическое пособие по производству региональных геохимических работ. СПб. : Ин-т Карпинского, 2025. 168 с.

Соколов С. В., Марченко А. Г., Шевченко С. С., Симонов О. Н., Стехин А. И., Олешкевич О. И., Дедюхин А. Н., Теремецкая Т. Е. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полукрытых территориях. СПб. : ВСЕГЕИ, 2005. 98 с.

Тарасова Ю. И., Будяк А. Е. Стадийность формирования рудной зоны Холодинского колчеданно-полиметаллического месторождения // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46, № 2. С. 201–211. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-201-211>

REFERENCES

Baranova S. A., Blinov A. V., Prosekin S. N. (2024). Using data storage and management systems to optimize geological prospecting works. *Earth Sciences and Subsoil Use*, 47(2), 140–148. (In Russ). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-2-140-148>

Blinov A. V., Budyak A. E., Tarasova Yu. I., Papkin I. V., Ilchenko V. O., Nikulina A. A. (2021). Comparative evaluation of geochemical methods of searches for secondary dispersion halos in complex landscape-geochemical conditions of Eastern Transbaikial. In *Engineering and Ore Geophysics 2021* [Sci. conf. proc.]. Moscow: EAGE GEOMODEL. (In Russ.). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152132>

Budyak A. E., Tarasova Yu. I. (2025). The role of organic carbon in the formation of orogenic-gold deposits (Bodaibo region, Russia). *Russian Geology and Geophysics*, 66(7), 820–840. <https://doi.org/10.2113/rgg20254812>

Budyak A. E., Efremov S. V., Skuzovatov S. Yu., Goryachev N. A., Tarasova Yu. I., Marchuk O. I., Blinov A. V., Prosekin S. N., Goryachev I. N., Savchenko V., Budyak A. A., Zharikova A. A., Cherkashina D. A. (2022). Integrated studies of diverse ore-forming systems for prediction and exploration purposes. In *Modern trends in geochemistry development* (pp. 76–79) [Proc. of All-Russ. conf. with foreign participants]. Irkutsk: V. B. Sochava Inst. of Geogr. of Siberian Branch RAS. (In Russ.).

Efremov S. V., Goryachev N. A., Budyak A. E., Skuzovtov S. Y., Blinov A. V. (2024). Use of digital models of geological structure to identify paleovolcanic structures controlling porphyry ore objects. *Geodynamics & Tectonophysics*, 15(2), 0750. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2024-15-2-0750>

Efremov S. V., Spiridonov A. M., Goryachev N. A., Budyak A. E. (2021). Evolution of the Kara ore-magmatic system (Eastern Transbaikalia, Russia): Experience in applying small-scale geochemical survey. *Geology of Ore Deposits*, 63(3), 257–268. <https://doi.org/10.1134/S1075701521030041>

Instruction on geochemical methods for ore deposit exploration. (1983). Moscow: Nedra, 191 p. (In Russ.).

Makarova Yu. V., Marchenko A. G., Ilchenko V. O. (2008). Methods of soil and stream sediment geochemical prospecting data treatment. *Prospect and Protection of Mineral Resources*, (4–5), 72–77. (In Russ.).

Morozov M. V., Trushin S. I., Osetskiy A. I., Kiskin V. A., Egorov V. N., Melkomukov V. V., Levochskaya D. V., Dolgushina I. S., Malykh M. Yu., Sukhodolskiy Ya. P. (2023). *Instruction on areal geochemical exploration work*. St. Petersburg: Poly-metal Management, LEMA, 166 p. (In Russ.).

Nesmeyanova A. I., Eremenko E. G. (2023). Algorithm for processing geochemical sampling data when exploring solid mineral deposits. In *Modern equipment and technologies in research* (pp. 118–125) [Intern. conf. proc.]. Bishkek: Research Station RAS in Bishkek. (In Russ.).

Novikova A. M., Polonskiy A. B., Novikov A. A. (2016). Comparison of QGIS interpolation modules capabilities for marine climate research on duty with an array of low-security data. *InterCarto. InterGIS*, 22(1), 76–88. (In Russ.).

Sokolov S. V., Marchenko A. G., Makarova Yu. V., Oleynikova G. A., Sholokhnev V. V. (2025). *Practical guide to regional geochemical work*. St. Petersburg: Karpinskiy Institute, 168 p. (In Russ.).

Sokolov S. V., Marchenko A. G., Shevchenko S. S., Simonov O. N., Stekhin A. I., Oleshkevich O. I., Dedyukhin A. N., Teremetskaya T. E. (2005). *Temporary methodological guidelines for geochemical exploration in closed and semi-closed territories*. St. Petersburg: VSEGEI, 98 p. (In Russ.).

Tarasova Yu. I., Budyak A. E. (2023). Formation stages of the Kholodninskoye pyrite-polymetallic deposit ore zone. *Earth Sciences and Subsoil Use*, 46(2), 201–211. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-201-211>

Софья Андреевна Баранова

Инженер-исследователь

Институт геохимии им. А. П. Виноградова
Сибирского отделения Российской академии наук,
Иркутск, Россия

<https://orcid.org/0009-0007-7869-6596>

WoS ResearcherID JNS-3072-2023

РИНЦ SPIN-код 2898-9190

s.baranova@igc.irk.ru

Sofia A. Baranova

Research Engineer

Vinogradov Institute of Geochemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia

<https://orcid.org/0009-0007-7869-6596>

WoS ResearcherID JNS-3072-2023

RSCI SPIN-code 2898-9190

s.baranova@igc.irk.ru

Станислав Андреевич Терешкин

Ведущий инженер

Иркутский национальный исследовательский
технический университет, Иркутск, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8828-9771>

Scopus Author ID 57205613732

WoS ResearcherID PRQ-5388-2026

РИНЦ SPIN-код 2204-1527

stereshkin@geo.istu.edu

Stanislav A. Tereshkin

Leading Engineer

Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8828-9771>

Scopus Author ID 57205613732

WoS ResearcherID PRQ-5388-2026

RSCI SPIN-code 2204-1527

stereshkin@geo.istu.edu

Антон Валерьевич Блинов

Младший научный сотрудник

Институт геохимии им. А. П. Виноградова
Сибирского отделения Российской академии наук,
Иркутск, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4562-2201>

Scopus Author ID 57200373463

WoS ResearcherID P-3969-2017

РИНЦ SPIN-код 3334-9158

ablinov@igc.irk.ru

Anton V. Blinov

Junior Researcher

Vinogradov Institute of Geochemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4562-2201>

Scopus Author ID 57200373463

WoS ResearcherID P-3969-2017

RSCI SPIN-code 3334-9158

ablinov@igc.irk.ru

Сергей Николаевич Просекин

Кандидат геолого-минералогических наук,
научный сотрудник

Институт геохимии им. А. П. Виноградова
Сибирского отделения Российской академии наук,
Иркутск, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-6047-3035>
Scopus Author ID 57191927496
WoS ResearcherID AAM-6022-2021
РИНЦ SPIN-код 5910-3901
pros.sergey@igc.irk.ru

Sergey N. Prosekin

PhD (Geology and Mineralogy),
Researcher

Vinogradov Institute of Geochemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-6047-3035>
Scopus Author ID 57191927496
WoS ResearcherID AAM-6022-2021
RSCI SPIN-code 5910-3901
pros.sergey@igc.irk.ru

Вклад авторов: *Баранова С. А.* — определение концепции, работа с данными, проведение исследования, анализ данных, валидация, визуализация, написание черновика рукописи.
Терешкин С. А. — разработка программного обеспечения. *Блинов А. В.* — определение концепции, проведение исследования, валидация, руководство исследованием, пересмотр и редактирование рукописи.
Просекин С. Н. — определение концепции, проведение исследования, валидация, руководство исследованием, пересмотр и редактирование рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *Baranova S. A.* — conceptualization, data curation, investigation, formal analysis, validation, visualization, original draft. *Tereshkin S. A.* — software development.

Blinov A. V. — conceptualization, investigation, validation, supervision, review and editing.

Prosekin S. N. — conceptualization, investigation, validation, supervision, review and editing.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 31.03.2026
Одобрена после рецензирования 04.05.2026
Принята к публикации 23.06.2026

Submitted 31.03.2026
Approved after reviewing 04.05.2026
Accepted for publication 23.06.2026