

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ***

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

***Подсекция
геохимии***

Руководитель — зав. кафедрой, профессор Бычков А.Ю.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2025

Содержание:

1. Закономерности распределения редкоземельных элементов в жильных полиметаллических рудах: причины, масштабы, следствия М.В. Борисов, Д.А. Бычков, Ю.В. Шваров, Т.Н. Лубкова	2
2. Прогнозирование насыщенного содержания воды в силикатных расплавах: перекалиброванное уравнение Я.Ю. Гнучев, Д.А. Бычков, Е.В. Коптев-Дворников	6
3. Цифровые технологии в поисковой геохимии: современное состояние, проблемы и пути их решения И.А. Калько, Ю.Н. Николаев, А.В. Аплеталин И.В. Балыкова, Е.Ю. Охапкина .	11
4. Состав, содержание и биодоступность полициклических ароматических углеводов в донных осадках Иваньковского водохранилища Е.С. Гришанцева, Ю.А. Завгородняя, Н.А. Коробова	17
5. Методические вопросы оценки нейтрализующего потенциала геологических материалов для прогноза вероятности формирования кислотного стока Т.Н. Лубкова, О.Р. Филатова	19
6. Поисковые признаки и критерии оценки золоторудной системы, связанной с интрузиями (Чукотка) Ю.Н. Николаев, И.В. Балыкова, И.А. Калько, А.В. Аплеталин	24

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИЛЬНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУДАХ: ПРИЧИНЫ, МАСШТАБЫ, СЛЕДСТВИЯ

М.В. Борисов, Д.А. Бычков, Ю.В. Шваров, Т.Н. Лубкова

Цель работы – реконструкция условий жильного гидротермального рудообразования. Главная задача - установление источников компонентов флюидов, которые формируют месторождения. Породы, вмещающие жильные тела многих гидротермальных объектов, могут быть основным источником рудных компонентов [1, 5-7]. Изучение закономерностей распределения рудных, сопутствующих и редкоземельных элементов (РЗЭ) в жилах и вмещающих породах позволяет определить источники вещества и их эволюцию в процессе рудообразования. Геохимические данные необходимы для создания генетической модели формирования месторождения, на основе которой разрабатывается термодинамическая модель процессов рудообразования, включающую области мобилизации и рудоотложения. Эталонные объекты в наших исследованиях - жильные Pb-Zn месторождения Садонского района (Сев.Осетия, Россия), по которым накоплена представительная база данных (2000 проб, сотни образцов и др.).

Рудообразование на месторождениях района происходило в J_2 , а вероятным источником рудных компонентов являлись граниты (PZ_3), которые вмещают наиболее продуктивную часть рудных жил основных месторождений (Садон, Архон, Згид, Холст и др.). Такой вывод сделан по изотопному составу свинца в галенитах руд и в калиевых полевых шпатах вмещающих пород района [5]. Аналогичный вывод получен нами при исследовании закономерностей распределения рудных элементов в первичных ореолах и по данным термодинамического моделирования [1, 3]. При моделировании граниты рассматривались как основной рудогенерирующий субстрат.

В работе проведено обобщение данных по РЗЭ для месторождения Джими (80 рудных проб и 14 типов вмещающих пород). Уникальной особенностью Джими является то, что главной рудовмещающей средой являются метаморфические породы буронской свиты (PR_3 – PZ_1). Мощный блок метамофитов надвинут на палеозойские граниты, контактируя с ними по серии пологих тектонических нарушений. Месторождение Джими расположено в восточной части Садоно-Унальского рудного поля. Горными выработками жилы мощностью до нескольких метров вскрыты по падению и простираению более чем на 500 м. Руды сложены пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, пирротинном, арсенопиритом. Жильные минералы - кварц, карбонаты, хлорит. Наши предварительные данные по РЗЭ в рудных жилах Джими [2, 4] показали, что источником рудных компонентов могут быть, как граниты (PZ_3), так и кристаллические сланцы (PR_3 – PZ_1). Установлено, что источники рудного вещества были комбинированными и включали породы субстрата в различных пропорциях, а их соотношение

можно установить по особенностям распределения РЗЭ в рудных жилах. Однако эти выводы были сделаны по ограниченной выборке рудных проб (отдельные пробы из полных разрезов по жилам).

Результаты обобщения представлены на рисунке. Приведены данные для 80 проб по рудным жилам по 15 местам пробоотбора (69 проб - 8 полных разрезов и 2 пробы – по одной валовой пробе на разрез; 11 проб - по отдельным интервалам из 5 разрезов). Полные разрезы по жилам (крупные ориентированные монолиты от контакта до контакта) отобраны на трех горизонтах месторождения (шт. 3 - 1680 м, шт. 47 - 1640 м, шт. 49 - 1520 м), т.е. представляют 160 м по восстанию рудных зон, вмещающими породами для которых являются только метаморфиты буронской свиты. На рисунке показаны и основные характеристики главных типов вмещающих пород, отобранными на значительных расстояниях от рудных зон (км и более). Данная выборка представлена 14 пробами: 8 проб – метаморфиты буронской свиты (амфиболиты и крист.сланцы), 4 пробы – палеозойские граниты (часть из коллекции), 2 пробы – вулканогенные породы нижней юры. Следует отметить, что на рисунке вместо La_N/Yb_N по оси ординат мы использовали La_N/Ho_N , поскольку в ряде рудных проб Yb не был определен. Значения минимума или максимума по европию определяли по выражению $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N \cdot Gd_N)^{0.5}$.

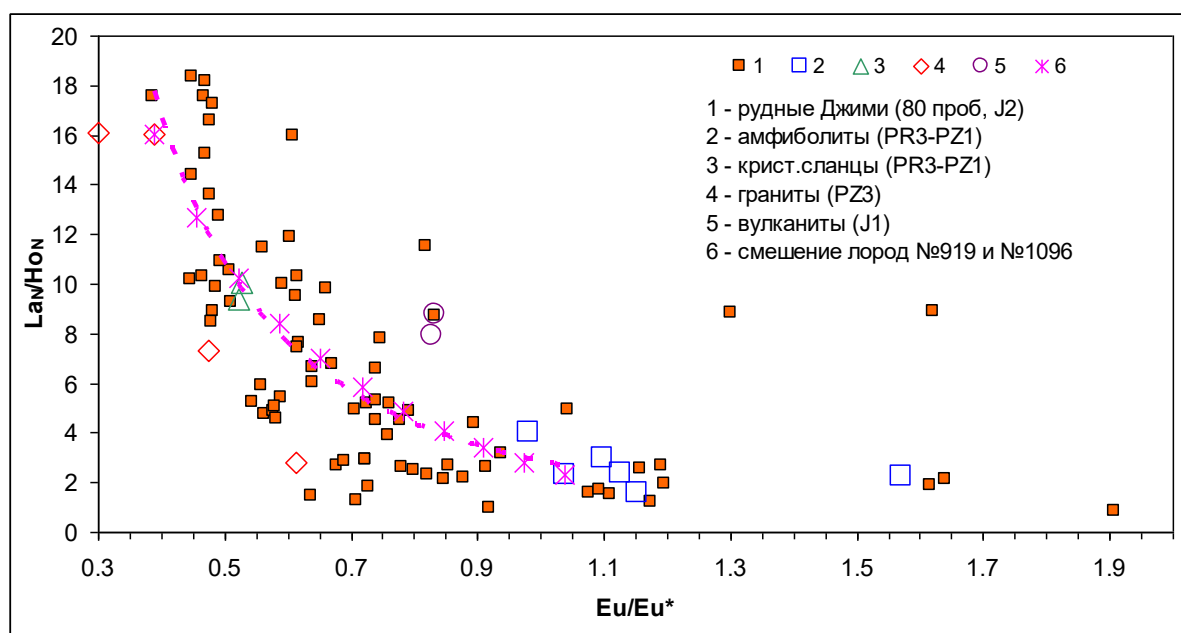


Рис. Сводные данные по характерным чертам распределения РЗЭ в пробах рудных жил и вмещающих пород месторождения Джими.

Кроме того, показан один из трендов смешения распределений РЗЭ «амфиболит-гранит» (шаг смешения 10%; амфиболит – проба №919 и гранит – проба №1096). Хорошо видно, что характеристики распределения РЗЭ для 90% рудных проб соответствуют, представленному

тренду смещения распределений в породах субстрата. При этом нужно иметь в виду, что характеристики других типов гранита или амфиболита, которые присутствуют на рисунке, расширят область отмеченной корреляции. Таким образом, расширение выборки рудных проб до 80 подтверждает вывод о том, что вмещающие породы являлись комбинированными источниками рудных компонентов и РЗЭ, сделанный нами ранее по 24 пробам [4]. Соотношения масс пород субстрата в источниках могут значительно изменяться на разных временных интервалах формирования рудных тел.

Суммарные содержания РЗЭ в рудных пробах значительно различаются: от первых г/т до 110 г/т. В 70 пробах (87,5% от общей выборки) суммарные содержания не превышают 45 г/т. Минералами носителями РЗЭ в рудных пробах могут быть карбонаты, эпидот, хлориты и др., которые могли отлагаться из гидротермальных растворов вместе с сульфидами и кварцем. В кварце и сульфидах (пирит, сфалерит, галенит, халькопирит и др.) сумма РЗЭ обычно не превышает первых г/т (13 проб). Для части проб ранее нами было определено, что в карбонатах содержится до 20-25% от суммы РЗЭ (в уксуснокислых вытяжках). Какие-либо корреляции суммы РЗЭ с рядом элементов, определенных РФА, на настоящий момент не установлены (рассматривали Zn, Pb, сумму Me, Al, Ti, Ca, Si).

Заключение.

По характеру распределения РЗЭ в рудах и породах можно установить:

1. породы, с которыми взаимодействовали гидротермальные растворы на пути к области формирования рудных тел и которые являются источником РЗЭ и рудных элементов;
2. пропорции участия пород субстрата в формировании рудоносных гидротермальных растворов;
3. эволюцию составов растворов и источников при формировании рудных тел.

Эти данные служат основой для создания адекватных геолого-геохимических и равновесно-динамических моделей с комбинированными источниками рудных компонентов.

Источники финансирования. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова.

Литература

1. Борисов М.В. Геохимические и термодинамические модели жильного гидротермального рудообразования. М.: Научный мир, 2000. 360 с.
2. Борисов М.В., Бычков Д.А., Пчелинцева Н.Ф. Редкоземельные элементы в гидротермальных жилах как индикатор взаимодействия вода-порода при формировании рудоносных растворов //

Материалы III Всероссийской конференции «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». Улан-Удэ: БНЦ СО РАН. 2018. С. 27-34.

3. Борисов М.В., Бычков Д.А., Шваров Ю.В. Геохимические структуры полиметаллических жил выполнения и параметры гидротермального рудообразования// Геохимия. 2006. №11. С. 1218-1239.

4. Борисов М.В., Волкова М.М., Бычков Д.А. Оценка источника вещества полиметаллических жил Джимидонского месторождения (Северная Осетия, Россия) на основе распределения редкоземельных элементов в рудах и вмещающих породах// Геохимия. 2016. №4. С. 371-388.

5. Тугаринов А.И., Бибикова Е.В. и др. Применение свинцово-изотопного метода исследования для решения вопросов о генезисе свинцовых месторождений Северо-Кавказской рудной провинции// Геохимия. 1975. №8. С. 1156-1163.

6. Чугаев А.В., Знаменский С.Е. Свинцово-изотопные характеристики месторождения золота Миндяк (Ю.Урал): К вопросу об источниках металлов // Геология рудных месторождений. 2018. № 1. С. 57–67.

7. Чугаев А.В. и др. Возраст и источники вещества золоторудного месторождения Кедровское (Республика Бурятия, Северное Забайкалье): геохронологические и изотопно-геохимические ограничения // Геология рудных месторождений. 2017. № 4. С. 281–297.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАСЫЩЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВАХ: ПЕРЕКАЛИБРОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ

Я.Ю. Гнучев, Д.А. Бычков, Е.В. Коптев-Дворников

На данный момент в нашей научной группе разработан комплекс композитометров [1;3;6;7;8;9;10], позволяющий предсказывать кристаллизацию сосуществующих с расплавом оливина, плагиоклаза, авгита, ортопироксена и рудных минералов (сульфиды, хромшпинелиды, магнетит и ильменит), однако эти уравнения были получены путем обработки результатов безводных экспериментов, в то время как подавляющее большинство природных магм в большей или меньшей мере являются водосодержащими.

Таким образом, актуальной задачей является разработка композитометров, единых для безводных и водосодержащих систем. При создании соответствующих выборок выяснилось, что только для 20% экспериментов, охарактеризованных авторами как водонасыщенные, приводится концентрация воды в расплаве [11]. Это исключает из статистической обработки 80% данных, что существенно снижает качество композитометров. Кроме того, необходимо знать тот предел содержания воды в расплаве, выше которого вода образует самостоятельную паровую фазу.

Выходом из этой ситуации является разработка уравнения, позволяющего рассчитывать насыщенную концентрацию воды в расплаве [2].

В связи с чем, ранее нами, на основе 412 экспериментов из базы данных ИНФОРЕКС [11], было разработано такое уравнение [5].

Опыт применения нашего уравнения показал, что для ряда экспериментов, выполненных в диапазоне давлений от 5 до 15 кбар, расчетные содержания воды нереалистично высоки. Причиной этого является крайне ограниченное количество экспериментов в выборке, характеризующих диапазон давлений от 5 до 15 кбар (всего 14 экспериментов). Поэтому имело смысл собрать выборку большего объема экспериментальных данных и на ее основе вернуться к ревизии вида уравнения и повторной его калибровке.

Благодаря любезности А.В. Гирниса, предоставившего в наше распоряжение базу данных MELT [4], а также собственно найденной литературы, выборка значительно расширилась с 412 экспериментов до 1241 эксперимента, из которых 145 экспериментов выполнено при давлениях от 5 до 20 кбар, на основе которой откалибровано уравнение, применимое в более широком диапазоне интенсивных параметров (состава, температуры и давления).

Многогранник 1241 экспериментальных составов расплавов в координатах концентраций оксидов для вновь сформированной выборки характеризуется следующими величинами (мас. % содержания оксидов в расплаве, пересчитанные на безводную основу): SiO_2 от 43,7 до 80,3, TiO_2 от 0 до 4,9, Al_2O_3 8,9–24,8, FeO^* 0–14,9 (FeO^* – все железо, пересчитанное на FeO), MgO 0–20,5,

CaO от 0–24,6, Na₂O 0–13,0, K₂O 0–16,8, H₂O 0–17,0. Эксперименты выполнены в диапазоне температур от 825 до 1550 К и давлений от 1 бара до 20,0 кбар.

Рис. 1. Диаграмма TAS. Диапазон вариации экспериментальных составов расплавов (1241 эксперимент в выборке).

Анализ результатов

$$\ln X_{H_2O}^{melt} = \frac{a}{T} + b_{SiO_2} X_{SiO_2} \left(\frac{P}{T} \right) + b_{FeO} X_{FeO} \left(\frac{P}{T} \right) + c \ln P + d \quad (1)$$

Сопоставление экспериментальных и рассчитанных по новому уравнению насыщенных содержаний воды представлено на рис. 2, а значения коэффициентов в таблице 1. О высоком качестве воспроизведения экспериментальных данных свидетельствует близость угловых коэффициентов в уравнениях регрессии к единице, свободных членов – к нулю, близкие к

единице значения коэффициентов детерминации и весьма малая ширина доверительного коридора на 95% уровне доверия.

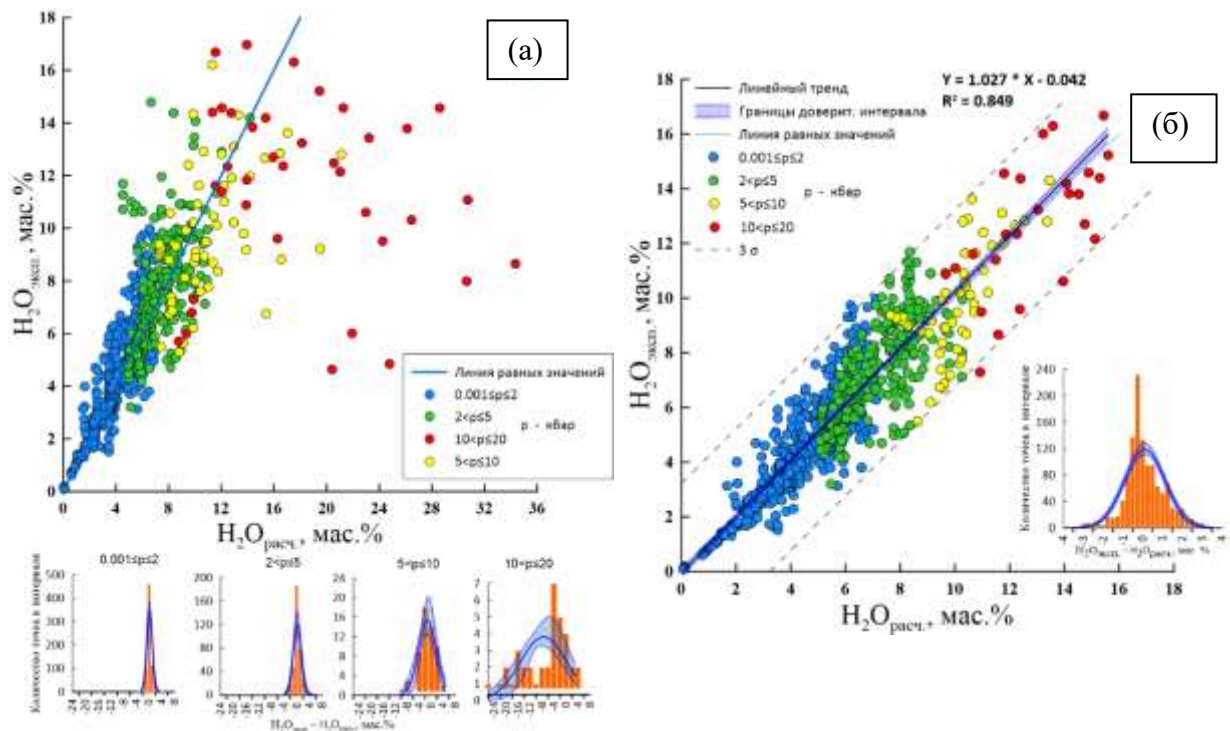


Рис. 2. Сравнение рассчитанных и экспериментальных значений растворимости воды по а – уравнению 2023 года, б – уравнению, оптимизированному на общей выборке (1241 эксперимент), с экспериментальными данными, где растворимость воды выражена в – мас. %.

Табл. 1. Значения коэффициентов при переменных в уравнении (1), полученные в результате оптимизации данных на выборке из 1241 экспериментов (± – величина доверительного интервала на 95 % уровне доверия)

Коэф.	a	b _{SiO2}	b _{FeO}	c	d
Мас. %	958,2	-0,000334	-0,00387	0,563	-3,25
±	113,6	0,000077	0,0011	0,0094	0,119

В результате переоптимизации уравнения на новой выборке появилась возможность предсказывать предельную растворимость воды в более широком, чем ранее, диапазоне составов и давлений, вплоть до 20 кбар. Это позволяет использовать уравнение:

- при планировании экспериментов и при проверке реалистичности полученных результатов;
- для определения условий отделения водного флюида от эволюционирующей магмы в промежуточной камере вулкана или камеры интрузива;
- для расширения выборок, используемых для вывода композитометров-термобарометров (систем уравнений, моделирующих равновесие минерал – расплав).
- наличие такого уравнения позволит решить проблему ограниченного объёма выборки водосодержащих экспериментов, при оптимизации уравнений термобарометров.

Выводы

- Собрана новая выборка водонасыщенных экспериментальных данных, которая увеличилась по сравнению с предыдущей более чем в 3 раза (до 1241 эксперимента). Расширился диапазон интенсивных параметров.
- На основе новой выборки, оптимизировано уравнение, которое существенно лучше, чем ранее, воспроизводит экспериментальные данные, особенно в области давлений от 5 до 20 кбар. С вероятностью 95% рассчитанное насыщенное содержание воды в силикатном расплаве отличается от истинного не более чем на $\pm 0,01$ мольной доли, либо $\pm 0,25$ мас. %.

Благодарности

Авторы статьи приносят искреннюю благодарность А.А. Борисову и А.В. Гирнису за полезные замечания, которые позволили улучшить качество публикации. Особую благодарность мы выражаем А.В. Гирнису за предоставленную базу данных MELT.

Литература

1. Арьяева Н. С., Коптев-Дворников Е. В., Бычков Д. А. (2012) Уравнение термобарометра для описания сульфид-силикатной ликвации в базитовых системах. Петрология. 20 (5), 495–495.
2. Арискин А. А., Бармина Г. С. (2000) Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. М.: Наука/Интерпериодика, 363.
3. Бычков Д.А. (2024) Программа КриМинал и набор композитометров: инструменты для моделирования равновесия силикатный расплав – минералы, Дис. канд. геол.-мин. наук. Москва: МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, 139 с.
4. Гирнис А.В. (2023) Распределение редких элементов между оливином и расплавом: обобщение экспериментальных данных// *Geochimica*. – 2023. – Т. 68. – №. 4. – С. 327-340.
5. Гнучев Я. Ю., Бычков Д. А., Коптев-Дворников Е. В. Новая версия уравнения для расчета насыщенных содержаний воды в силикатных расплавах // *Geochimica*. – 2023. – Т. 68. – №. 9. – С. 926-937.
6. Гнучев Я.Ю., Бычков Д.А., Коптев-Дворников Е.В. (2024) Единый для водосодержащих и безводных систем плагиоклазовый ликвидусный композитометр. в сборнике Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЕСЭМПГ-2024), серия Хитаиада-2024, издательство МИИ (Москва), с. 41-45.
7. Коптев-Дворников Е.В., Арьяева Н.С., Бычков Д.А. (2012) Уравнение термобарометра для описания сульфид-силикатной ликвации в базитовых системах. Петрология. 20(5), 495-495.

8. Коптев-Дворников Е.В., Бычков Д.А. (2019) Разработка ликвидусного термобарометра для моделирования равновесия оливин-расплав. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. (5), 62-74.
9. Коптев-Дворников Е.В., Романова Е.С., Бычков Д.А. (2020) Ортопироксеновый термобарометр-композиометр для диапазона составов от магнезиальных базитов до дацитов. Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии, 74-77.
10. Романова Е.С., Коптев-Дворников Е.В., Бычков Д.А. (2020) Пижонитовый ликвидусный термобарометр для диапазона составов расплавов от магнезиальных базитов до дацитов. Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии, 90-93.
11. Ariskin A. A., Barmina G. S., Meshalkin S. S., Nikolaev G. S., Almeev R.R. (1996) INFOREX–3.0: A database on experimental studies of phase equilibria in igneous rocks and synthetic systems: II. Data description and petrological applications. Computers & Geosciences. 22 (10) 1073–1082.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОИСКОВОЙ ГЕОХИМИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

И.А. Калько, Ю.Н. Николаев, А.В. Аплеталин, И.В. Балыкова, Е.Ю. Охапкина

Цифровизация подразумевает следующие стадии: 1) накопление данных (создание цифровых баз геологической информации), 2) систематизация (структурирование и категоризация данных); 3) переработка: (анализ и интерпретация); 4) прогнозирование (использование предсказательных моделей).

Последними трендами в развитии цифровизации является использование алгоритмов машинного обучения для решения рутинных задач. Современная доступность больших вычислительных мощностей увеличивает возможности рядовых пользователей. Внедрение решений на основе машинного обучения имеют довольно высокие показатели в задачах классификации, регрессии, кластеризации и уменьшении размерности данных. Поскольку данные материалы не подразумевают измерения этих характеристик, то приводимые результаты относятся к опыту проведения исследований.

Для накопления в цифровом виде геологической информации можно использовать мобильные приложения, которые позволяют формировать в цифровом виде как первичную документацию, так и базу данных с заданными полями данных. Современные инструменты геологической документации. Из отечественного программного обеспечения можно выделить *Sherpa* (ВСЕГЕИ): Специализированное ПО для полевой геологической документации, которая имеет интеграции с базами данных, оформляемых при проведении геолого-съёмочных работ, автоматизация процесса сбора полевых данных с привязкой и фотодокументацией. Рамках проведения практики был создан проект для проведения работ в окрестностях МГУ, который может быть скачен по ссылке [1].

Систематизация данных требует однообразных макетов баз данных, которые при съёмочных и геохимических работах регионального масштаба приведена к единообразной схеме, тогда как для горных работ нет унифицированной структуры базы данных.

У большинства недропользователей, которые имеют стратегию развития, есть внутренние стандарты, которые задают минимальные требования к проведению работ, что может быть использовано для создание собственных систем прогнозирования. Накапливаемые в Росгеолфонде результаты становятся доступными пользователям спустя три года для первичной информации и спустя пять лет для интерпретированной информации, однако даже ответственные недропользователи не сдают интерпретируемые результаты, видимо накапливая их самостоятельно, что замедляет как доступ к знаниям, так и к машинному обучению.

Предсказание (прогнозирование) на основе геохимических данных по-прежнему отвечает точности около 80%, достигая 95-96% в случае однородных данных на входе. Одним из ограничений является недостаточно точные аналитические результаты, используемые в качестве входных.

На открытых территориях (например, в условиях Казахстана и Монголии) высокую прогнозную ценность имеют мультиспектральные снимки, получаемые как дистанционными, так и авиа/беспилотными методами, они могут помочь при составлении ландшафтных карт, особенно с заверкой на местности. Автоматическая классификация ландшафтов уже встроена в ГИС. В регионах с наличием растительности работа этих методов существенно осложнена.

В современном мире все больше акцентов смещается в сторону работы больших языковых моделей (LLM), к которым относятся, например, Яндекс Gpt, GigaChart (Sber) ChartGpt (Open.ai), Perplexity.ai, DeepSeek и многие другие. Кроме первичных сервисов по работе с большими языковыми моделями есть посредники, которые могут называться аналогичным образом, но иметь (как правило) упрощенный функционал.

Для каждого из сервисов есть свои сильные и слабые стороны, но можно уверенно говорить, что эти технологии вытеснят традиционный поиск в интернете. В учебной среде очень сложно научить правильно пользоваться поисковыми системами, выбирать не рефераты других студентов, а искать в проверенных временем системах (хотя бы elibrary.ru).

Новый вызов заключается в том, что большие языковые модели придумывают информацию и выдают ее за истину: ответах языковых моделей могут присутствовать искажения или заведомо ложная информация. Даже в сервисах, которые не приводят информацию без ссылок на первоисточники, нет уверенности, что в качестве источника «проверенной» информации не будет выбран журнал желтой прессы, где можно найти информацию о том, что Земля плоская (*авторы не поддерживают эту «идею»*). Например, если в этих сервисах написать запрос про создания путеводителя в несуществующем городе, модель по аналогии с другими путеводителями придумает что-то похожее.

Для эффективного взаимодействия больших языковых моделей необходимо понимать схему работы с чатами. В понимании принципов их работы коллектив благодарит Павла Лебедева с его видео урокам. Павел проводит мастер-классы, в которых адаптировано рассказывает о том, как правильно формулировать вопросы и в каком месте можно реализовать себя практически с нуля. Важной мыслью в его опыте прослеживается идея сильных и слабых сторон человека, который, умножая свои знания кратно, может ускорять свою работу при грамотной организации процесса. При этом, если исходные знания ничтожны, то ускорение сводится к нулю, поскольку «факты», которые «выдает» модель придется перепроверять.

Чаты называются так из-за особенности отправки запросов – они отправляются по образцу сообщений в мобильном телефоне или мессенджере, ответ поступает в виде сообщения. Таким образом, пользователь ведет «диалог» с моделью. При отправке в модель запроса формируется ответ, исходя из поставленной роли, настройки выдачи результата. Если мы отправляем уточняющий вопрос в тот же диалог, то вместе с нашим вторым вопросом незаметно для нас направляется первый вопрос и ответ. Это полезная опция, позволяющая не сбиваться с обсуждаемой темы. Но чем больше текста отправляется, тем больше ресурсов требуется на его обработку, поэтому спустя некоторое количество сообщений, диалог «обнуляется».

В том же случае, если тема второго запроса существенно отличается от первого запроса и пользователь не создает нового диалога, то ответ будет дополняться тем, что было заложено в первом вопросе. Поэтому при недостаточном опыте пользователь получает ответы, которые повторяют предыдущие. По опыту использования в системе хранится информация о всех пользовательских запросах, что иногда помогает решению задач, но бывает, что не дает найти междисциплинарный подход.

Таким образом, первый барьер, который называют возможностью «галлюцинировать» можно преодолеть, но для отделения зерен от плевел нужно обладать базовыми и иногда продвинутыми знаниями в той области, которой посвящен поиск.

Вторым барьером по использованию больших языковых моделей является передача информации «третьим» лицам, которые могут использовать как перехватить запрос, так и данные, которые Вы передали. Но хуже всего, если Вы потеряете полученные наработки в решении своих задач. Всю информацию, которая может быть уязвима необходимо переводить в обезличенный вид. При невозможности реализации обезличивания данных можно развернуть языковую модель на локальном рабочем месте, что уже доступно.

Третьим барьером является языковой барьер, хотя большинство моделей уже с ним справляется, добавляя перевод с русского на английский и обратно. На английском языке выходит большинство геологических статей, поэтому знание языка упрощает отправку запросов. Важно учитывать сложность перевода отдельных терминов и не сохранение всех смыслов между переводами.

Для тех людей, кто недоволен ответами чатов, стоит напомнить, что еще вчера они не могли почти ничего. Сегодня для тестирования глубины проникновения знаний в обучение той или иной модели можно предложить следующий вопрос: *«Ты эксперт в области геохимии, геохимических методов поисков, с многолетним опытом. Предложи 10 современных трендов в данной области знаний. Предложи 10 наиболее востребованных направлений через 50 лет»*. Ниже привожу ответ ChartGpt:

«Вот обзор современных трендов и долгосрочных перспектив в геохимии и геохимических методах поисков полезных ископаемых.

10 трендов в геохимии и геохимических методах поисков (2020–2025 гг.)

- 1. Ультранизкоуровневая аналитика (ULTRA-trace geochemistry): Применение методов с пределами обнаружения на уровне ppt и ниже (например, LA-ICP-MS, HR-ICP-MS).*
- 2. Изотопная геохимия новых поколений: Использование нерадиогенных стабильных изотопов (Li, Mg, Fe, Zn, Cu и др.) для понимания процессов рудообразования.*
- 3. Метаболическая геохимия и биоориентированные поиски: Использование микробиологических сигналов, микробных сообществ и биогеохимических аномалий в почвах.*
- 4. Интеграция геохимии с машинным обучением: Применение ИИ/ML для распознавания аномалий и построения прогностических моделей.*
- 5. Геохимия сверхглубоких флюидов и сверхглубинной литосферы: Исследование глубинных процессов, влияющих на миграцию элементов и формирование руд.*
- 6. Мобильные формы элементов и новые методы пробоотбора: Анализ и картирование подвижных форм элементов, например, с применением *diffusive gradients in thin films*.*
- 7. Геохимия редких и критически важных элементов (REE, PGE, Li, Co и др.): Рост спроса стимулирует разработку методов обнаружения этих элементов.*
- 8. Внедрение дронов и дистанционного зондирования в геохимическую разведку: Использование беспилотников для картирования и отбора проб в труднодоступных районах.*
- 9. Экологическая геохимия и мониторинг окружающей среды: Геохимический мониторинг загрязнений и состояния природных сред.*
- 10. Интеграция 3D/4D моделей рудных систем с геохимическими данными: Визуализация пространственно-временных изменений геохимических параметров.*

10 наиболее востребованных направлений через 50 лет (2075 г. и далее)

- 1. Планетарная геохимия и внеземные поиски ресурсов: Геохимические методы для поиска и оценки ресурсов на Луне, Марсе, астероидах.*
- 2. Атомарная и квантовая геохимия: Использование квантовых моделей для понимания поведения элементов в сложных геосредах.*
- 3. Самообучающиеся системы прогноза рудных объектов: Искусственный интеллект, обучающийся на глобальных геохимических базах и спутниковых данных.*
- 4. Геохимия наноструктур и материалов нового поколения: Фокус на элементах, востребованных в нанотехнологиях и квантовых вычислениях.*

5. *Экстремальная геохимия (ультраглубокие недра, подледные океаны и т.п.): Новые среды и объекты исследований, ранее недоступные.*
6. *Ультраавтоматизированные лаборатории in situ: Станции автоматического отбора и анализа проб на месте в режиме реального времени.*
7. *Геохимия водородных и других альтернативных энергоносителей: Поиски водородосодержащих минералов и оценка геохимии подземного хранения энергии.*
8. *Геохимия биомиметических и синтетических материалов: Синтез материалов, имитирующих природные рудные образования.*
9. *Цифровой двойник Земли с геохимической проекцией: Моделирование геохимических процессов в реальном времени на глобальной модели Земли.*
10. *Геохимическая этика и устойчивое недропользование: Этические стандарты геохимических исследований и поисков, с учётом влияния на климат и биоразнообразие.»*

Сослаться на полученный результат не получится, в результатах из ChatGpt нет ссылок, нет уверенности, что в следующий раз система соберет именно эти варианты в свой ответ. Насколько успешно могут простые пользователи писать научные публикации с помощью искусственного интеллекта (LLM)? На этот вопрос нашли ответ разработчики сервиса «Пульс Науки», которые проводили мастер-класс на эту тему.

Какие функции помогают быстрее решать рутинные задачи: 1) краткое содержание pdf/youtube с расширенным оглавлением; 2) перевод; 3) создание пошаговых инструкций, понятных для пользователя (можно использовать для освоение программных продуктов); 4) План лекции/ курсовой работы на начальный уровень знаний, адаптация текста под легкое восприятие; 5) научные инструменты по подбору публикаций; 6) создание «подсказки» (промпта) для системы поддерживающей LLM; 7) написание простого кода для веб-страницы; 8) написание кода для анализа данных; 9) статистическая обработка данных. Интерпретация полученных результатов все равно остается на пользователе, также как и ответственность за правильное понимание задачи, которую он ставит. Поэтому, не смотря на все угрозы по вытеснению ИИ сопряжены с тем, что потребность в специалистах, которые смогут использовать данный инструмент в своих целях будет только расти, хотя едва ли это будет необходимый для каждого навык.

При выборе того, что нужно автоматизировать следует исходить из прагматического подхода: в деятельности человека должно быть время на долгосрочное планирование, если времени этого нет, то рутины слишком много, если за планированием Вы не видите рутины, то экспертность Ваша, к сожалению, испаряется.

Все упоминаемые в тексте сервисы и материалы принадлежат их владельцам, полное цитирование не предусмотрено рамками настоящей работы, все дополнительные материалы доступны [1].

Литература

1. <https://disk.yandex.ru/d/6lbsAxbcC7IL6w> Дополнительные материалы к тезисам, презентация режим доступа свободный дата обращения 05.05.2025

СОСТАВ, СОДЕРЖАНИЕ И БИОДОСТУПНОСТЬ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.С. Гришанцева, Ю.А. Завгородняя, Н.А. Коробова

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются одними из наиболее опасных загрязнителей водных экосистем, поскольку в зависимости от их структуры и концентраций, могут оказывать сильные токсические, канцерогенные и мутагенные эффекты на гидробионтов и человека. В водных экосистемах именно донные отложения являются депонирующей средой, в которой аккумулируются ПАУ и где их деструкция затруднена, поэтому анализ донных отложений может дать информацию об уровнях накопления и спектре ПАУ, поступающих в водный объект не только в момент исследования, но и в предыдущий период. Целью данной работы было изучение распределения и накопления ПАУ в донных осадках Иваньковского водохранилища, анализ их состава, оценка канцерогенной опасности донных осадков и определение потенциальной биодоступности ПАУ в донных отложениях. Отбор проб на Иваньковском водохранилище выполнялся в июле 2021 г. на шести створах с разной гидродинамической обстановкой и антропогенной нагрузкой: Мелково, Безбородово, устье р.Донховка, КГРЭС, Мошковичский залив, плотина у г.Дубна.

Определение полиароматических углеводородов проводилось в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.5-95 [1]. Для извлечения ПАУ из донных осадков применялась экстракция хлороформом с помощью системы ускоренной экстракции растворителями Dionex ASE 200 с последующей очисткой твердофазной экстракцией на концентрирующих патронах Диапак С. Качественную идентификацию и количественное определение полиароматических углеводородов в донных осадках проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе Agilent 1260 Infinity (Agilent Technologies, США) с флуоресцентным детектором, колонкой – Zorbax Extend в Химико-аналитическом центре факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством Завгородней Ю.А. Оценка потенциальной биодоступности найденных в донных осадках полиароматических соединений проводилась по усовершенствованной методике ISO/TS 16751:2018 [2] путем извлечения неполярных органических соединений бутанолом. Традиционно в качестве экстрагента используется циклодекстрин. Сравнение результатов, полученных с применением бутанола и циклодекстрина показало наилучшую сходимость для определения биодоступных форм дибенз(а, h)антрацена и бенз(а)антрацена.

Суммарное содержание ПАУ в донных осадках Иваньковского водохранилища составляет от 198 до 4470 нг/г. Самые высокие концентрации ПАУ получены в донных осадках створа Мелково, расположенном ниже по течению г.Тверь, устья р. Донховка и в створе вблизи

Конаковской ГРЭС. Это может быть связано с поступлением ПАУ из неконтролируемых источников загрязнения (смыв с промышленных площадок, городских территорий и автомагистралей, влияние водного транспорта). В этих створах концентрация бенз(а)пирена, ПАУ с доказанной канцерогенной опасностью, превышает ПДК для почв в 2-5.5 раз. Коэффициент канцерогенной опасности ($K_{\text{ПАУ}}$) [3] донных осадков Иваньковского водохранилища во многом определяется содержанием дибенз(а,h)антрацена, так как это соединение имеет высокий индивидуальный индекс токсичности относительно бенз(а)пирена и для этого соединения получены высокие содержания в донных осадках. Наибольший $K_{\text{ПАУ}}$ рассчитан для створа вблизи КГРЭС.

На основании расчета химических маркерных соотношений концентраций ПАУ сделаны выводы об их преимущественно пирогенном происхождении в донных осадках Иваньковского водохранилища. Анализ корреляционных связей между содержанием глинистых частиц и органического вещества в донных осадках не позволил установить значимой корреляционной связи между этими факторами и распределением ПАУ в донных осадках. Доля потенциально биодоступных ПАУ в донных осадках Иваньковского водохранилища различна для высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений и составляет от 5,4 до 100 % от их общего содержания. В створах с высокой антропогенной нагрузкой доля биодоступной фракции ПАУ выше, чем в остальных створах.

Литература

1. ПНД Ф 14.1:2:4.5-95 ПНД Ф 14.1:2:4.5-95 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов питьевых, поверхностных и сточных водах методом ИК-спектроскопии».
2. ISO/TS 16751:2018 «Качество почвы. Экологическая доступность неполярных органических соединений. Определение потенциальной биодоступной и небидоступной фракции с использованием сильного адсорбента или комплексообразователя» (ISO/TS 16751:2018 "Soil quality - Environmental availability of non-polar organic compounds - Determination of the potential bioavailable fraction and the non-bioavailable fraction using a strong adsorbent or complexing agent", IDT).
3. Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С., Санни С., Коммедал Р., Опекунова М.Г., Баги А. Полициклические ароматические углеводороды в донных отложениях рек и каналов Санкт-Петербурга // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. Серия 7, вып. 4, 2015, стр.98-108.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ НЕЙТРАЛИЗУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА ВЕРОЯТНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КИСЛОТНОГО СТОКА

Т.Н. Лубкова, О.Р. Филатова

Складирование сульфидсодержащих геологических материалов на дневной поверхности в ходе разработки месторождений обуславливает формирование больших объемов дренажных вод. Наибольшую опасность представляют кислые дренажные воды с высоким Eh, широкое распространение которых приводит к формированию 1 типа гидрогеохимической обстановки [1]. Характерной особенностью вод являются повышенные концентрации как элементов окисляющихся сульфидных минералов (Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni, As, Mo, Se, Te), так и элементов, переходящие в агрессивные кислые воды из вмещающих пород (Al, Be, Si, Sc, Ga, Nb, Li). Необходимость релевантной оценки воздействия на окружающую среду и планирования природоохранных мероприятий при проведении горнодобывающих работ обуславливает актуальность исследований по прогнозу вероятности формирования кислотного стока

Систематические исследования процессов кислотного дренажа (Acid Rock Drainage – ARD) были начаты в 1970-х гг. с появлением стандартизованных полевых и лабораторных методы анализа вскрышных пород [4]. В настоящее время прогноз развития процессов кислотного дренажа базируется на данных анализа геологических, минералогических, геохимических факторов, а также результатах математического моделирования.

Основным инструментом являются статические геохимические тесты по оценке склонности пород к кислотопродуцированию, которые включают определение кислотопродуцирующего и нейтрализующего потенциалов (КП и НП) геологических материалов (вскрышных пород, отходов обогащения, забалансовых руд и др.) для оценки кислотно-основного баланса и их классифицирования по склонности к формированию кислотного стока.

Основными источниками генерации кислоты являются процессы окисления пирита и других сульфидов, а также выветривание Fe, Mn, Al-содержащих сульфатных солей (ярозита, галотрихита, кокумбита, мелантерита и др.) и осаждение окси/гидроксидов Fe (III), Mn (IV) и Al (III). Образующаяся кислота нейтрализуется (полностью или частично) при взаимодействии с карбонатами, силикатами, а также в результате реакции ионов водорода и двухвалентного железа с катионами обменного комплекса в слюдах, глинах, органическом веществе.

Количественная оценка кислотно-основного баланса геологических материалов (Acid-Base Accounting – АВА-тест) базируется на совмещенной схеме полного окисления пирита как преобладающего сульфида и нейтрализации образующейся кислоты минералами вмещающих пород, в первую очередь карбонатами, среди которых наиболее распространенным и реакционноспособным является кальцит (рис. 1).

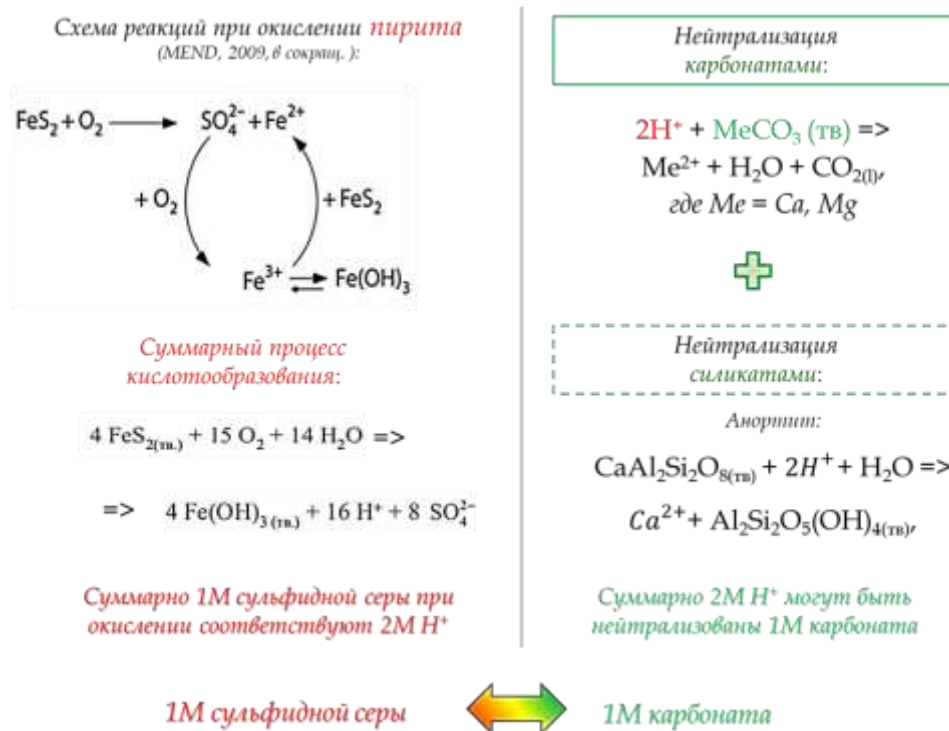


Рис. 1. Методология оценки кислотно-основного баланса геологических материалов

При определении кислотно-основного баланса геологических материалов его составляющие (КП, НП) выражают в единицах кг $\text{CaCO}_3/\text{т}$ породы (либо кг $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{т}$ породы).

Традиционно считается, что основные погрешности в определении кислотно-основного баланса материалов связаны с оценкой кислотопродуцирующего потенциала (КП), который стандартно рассчитывается по содержанию сульфидной серы (1):

$$\text{КП} = 10 \times C(S_{\text{sulfide}}) \times \frac{M(\text{CaCO}_3)}{M(\text{S})} \approx 10 \times C(S_{\text{sulfide}}) \times \frac{100}{32}, \text{ или } \text{КП} = C(S_{\text{sulfide}}) \times 31.25,$$

где 10 — коэффициент пересчета мас. % в кг/т; $C(S_{\text{sulfide}})$ — содержание сульфидной серы, мас. %; $M(\text{CaCO}_3)$ и $M(\text{S})$ — молярные массы карбоната кальция и серы.

При этом допущение, что вся сульфидная сера – пиритная, может вносить существенные погрешности в определение КП из-за различного количества кислоты при окислении разных сульфидов. В частности, при высокой доле галенита и сфалерита в общем количестве сульфидов расчетный КП может быть существенно завышен. При этом недоучет вклада механизма растворения Fe-содержащих сульфатов с последующим окислением и/или гидролизом, наоборот, приводит к заниженным оценкам КП при расчетах по содержанию сульфидной серы. Кроме того, условием нейтрализации кислоты карбонатами с образованием в продуктах реакции угольной кислоты (см. рис. 1) является протекание реакции в кислой среде. В околонеutralных условиях процесс нейтрализации будет протекать с образованием гидрокарбонат-иона ($\text{H}^+ + \text{MeCO}_3 \rightarrow \text{Me}^{2+} + \text{HCO}_3^-$, где Me = Ca, Mg), что потребует 2 моль карбоната для нейтрализации кислоты, образованной при окислении 1 моль сульфидной серы. Соответственно, КП в этом случае должен

быть в 2 раза выше, чем предполагает расчет по принятой формуле (1). Существенные погрешности в определении КП также могут быть связаны с аналитическими ошибками определения сульфидной серы при неоднородности образцов.

Нейтрализующий потенциал (НП) оценивается либо расчетным способом по содержанию неорганического углерода (карбонатный нейтрализующий потенциал – $\text{НП}_{\text{карб}}$) [3], либо экспериментально методом обратного ацидиметрического титрования (общий нейтрализующий потенциал – $\text{НП}_{\text{общ}}$) [2, 4]. В последнем случае реализуется учет вклада как карбонатных, так и силикатных минералов в общую нейтрализующую способность пород. При значениях $\text{НП} > 50\text{--}100 \text{ кг CaCO}_3/\text{т}$, вкладом силикатов в нейтрализующую способность, как правило, можно пренебречь, из-за низкой удельной нейтрализующей способности большинства силикатов ($0, n\text{--}n \text{ кг CaCO}_3/\text{т}$). Кроме того, расхождения в результатах определения карбонатного и общего НП связаны не столько с вкладом в нейтрализацию процессов выветривания силикатов и реакций ионного обмена, сколько с неоднородностью образцов и аналитическими ошибками при определении карбонатного углерода и обратном ацидиметрическом титровании для оценки общего НП, что в ряде случаев может обуславливать достаточно большой разброс значений отношения $\text{НП}_{\text{общ}}/\text{НП}_{\text{карб}}$ при среднем, близком к единице (рис. 2).

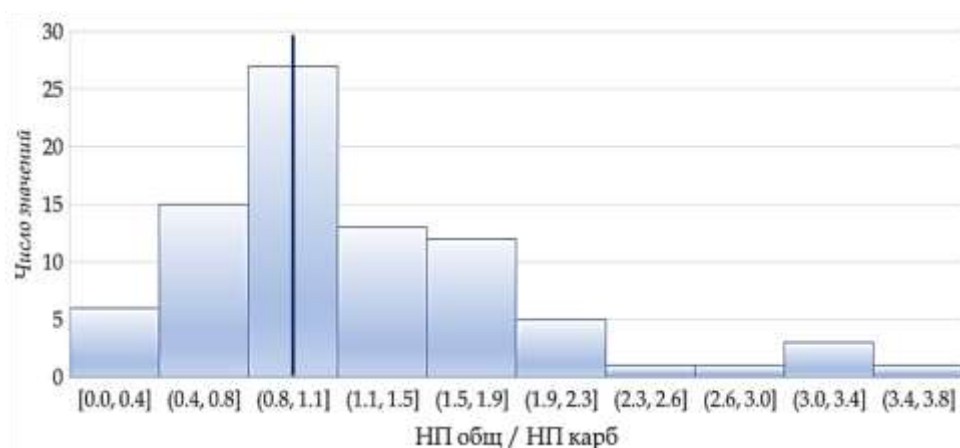


Рис. 2. Распределение образцов по величине $\text{НП}_{\text{общ}}/\text{НП}_{\text{карб}}$ для геологических материалов одного из золотокварцевых сульфидсодержащих месторождений Якутии

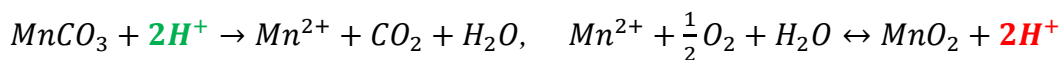
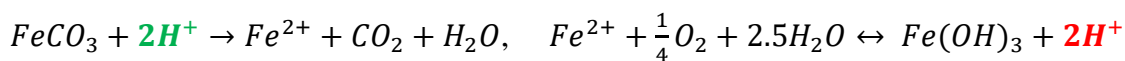
Как более экспрессный и простой в реализации, расчетный способ определения НП (карбонатного) в настоящее время является преобладающим (2):

$$\text{НП} = 10 \times C(C_{\text{карб}}) \times \frac{M(\text{CaCO}_3)}{M(\text{C})} \approx 10 \times C(C_{\text{карб}}) \times \frac{100}{12}, \text{ или } \text{НП} = C(C_{\text{карб}}) \times 83.3$$

где 10 — коэффициент пересчета мас. % в кг/т; $C(C_{\text{карб}})$ — содержание карбонатного углерода, мас. %; $M(\text{CaCO}_3)$ и $M(\text{C})$ — молярные массы карбоната кальция и углерода.

Основные проблемы некорректной оценки НП в случае расчета по карбонатному углероду связаны с заметной долей в минеральном составе сидерита и/или родохрозита. Реакция

нейтрализации кислоты данными минералами приводит к появлению ионов Fe (II) и Mn (II) в растворе, окисление и гидролиз которых обуславливает обратный выход протонов в раствор:



Оценка нейтрализующей способности геологических материалов расчетным способом в этом случае может приводить к существенному (в 2-4 раза) завышению НП относительно оценок, полученных экспериментально (рис. 3). Более корректные оценки могут быть получены при расчетах НП по углероду доломита и кальцита (массовые доли доломита и кальцита получены расчетным путем исходя из содержания кальция и магния в растворах взаимодействия «порода – кислота» при экспериментальном определении НП).

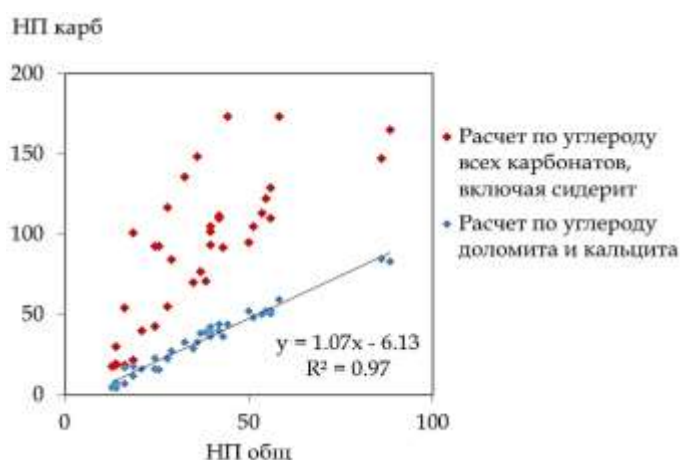


Рис. 3. Результаты оценки нейтрализующего потенциала (кг CaCO₃/т) расчетным (НП_{карб}) и экспериментальным (НП_{общ}) методами для геологических материалов одного из оловорудных месторождений Хабаровского края

Методики экспериментального определения нейтрализующей способности методом обратного ацидиметрического титрования (оценки непоглощенной навески образца кислоты после взаимодействия с ее избытком) различаются по условиям проведения тестов, основными факторами являются: время (несколько часов - 7 сут) и температура (25-80°C) взаимодействия образца с избытком кислоты, рН (6-8 ед.) конечной точки титрования.

Большая часть тестов реализуется либо при комнатной температуре в течение 1 сут, либо при нагревании 75-80°C в течение 2-4 часов. При условии, что карбонаты представлены преимущественно кальцитом и доломитом, взаимодействие при комнатной температуре в течение 1 сут (либо при нагреве 75°C в течение 2-4 часов) является достаточным для реализации нейтрализующей способности минералов. В случае магнезита за 1 сут взаимодействия при комнатной температуре НП составляет 0,25-0,3НП полного, нагревание увеличивает нейтрализацию до 50% от удельной нейтрализующей способности минерала (рис. 4). При этом

pH конечной точки титрования в случае реакции с чистыми веществами не оказывает влияния на определяемую величину НП.

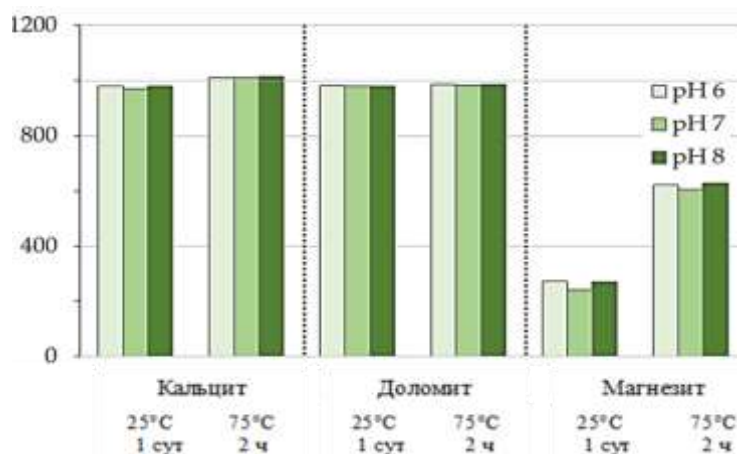


Рис. 4. Результаты оценки удельного НП карбонатов при различных условиях

Для реальных геологических материалов величина pH конечной точки титрования является существенным фактором (рис. 5а), поскольку при титровании до более низких значений pH не реализуется механизм гидролиза Fe (II). В качестве эффективного методического приема может быть применено окисление раствора взаимодействия перекисью водорода (рис. 5б).

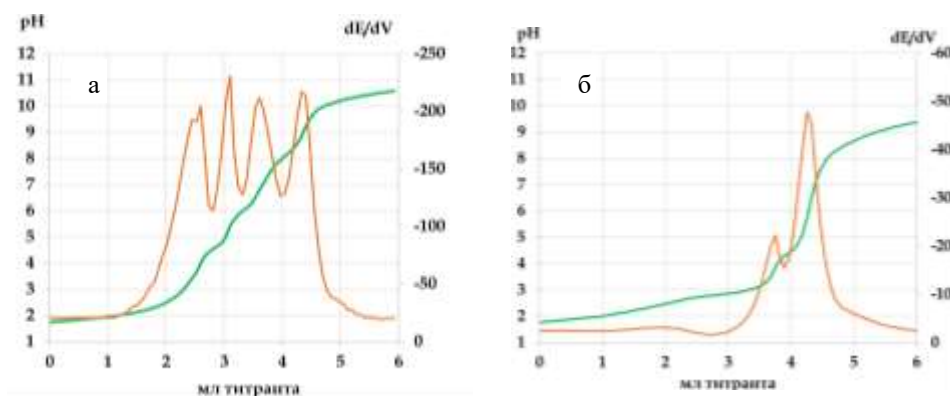


Рис. 5. Результаты потенциометрического титрования растворов взаимодействия образца с кислотой без (а) и с предварительным окислением перекисью водорода (б)

Литература

1. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, практические и экологические аспекты / под ред. академика Н.П. Лаверова. Издание второе. М., ЦентрЛитНефтеГаз, 2012, 672 с.
2. Miller, S., Jeffery, J. Advances in the Prediction of Acid Generating Mine Waste Materials. 2nd Australian Acid Mine Drainage Workshop, Brisbane, Australia. 1995. P. 33–43
3. Price W.A. Prediction manual for drainage chemistry from sulphidic geologic materials. CANMET, Mining and Mineral Sciences Laboratories. 2009. P. 579.
4. Sobek A.A., Schuller W.A., Freeman J.R., Smith R.M. Field and laboratory methods applicable to overburden and mine soils, U.S. EPA 600/2-78-054. 1978. 203 p.

ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНОЙ СИСТЕМЫ, СВЯЗАННОЙ С ИНТРУЗИЯМИ (ЧУКОТКА)

Ю.Н. Николаев, И.В. Балыкова, И.А. Калько, А.В. Аплеталин

Системы золота, связанные с интрузией *IRGS* – (англоязычная литература) [4] и золото-редкометальной формации *ЗРМ* (русскоязычная) [1], могут содержать большие запасы золота при широком диапазоне содержаний (0,8-1,5 г/т), а также значительные количества серебра, висмута, теллура, вольфрама, олова, свинца, меди и сурьмы.

Построение и использование моделей вносит вклад в оценку перспективности объектов. Наиболее распространенной в мире и РФ принята поисковая геолого-геохимическая модель *IRGS*, построенная на исследовании месторождений золотого пояса Тинтин (Аляска, Канада) [3]. При поисках золотого оруденения в системах *IRGS* ведущими методами выявления и оценки перспективности проявлений являются геохимические съемки и прямые геологические наблюдения в поисковых маршрутах. Территорий на которой есть перспектива на выявление новых *IRGS* в РФ является Западная Чукотка, где уже разведано и введено в эксплуатацию золоторудное месторождение Кекура и продолжается интенсивные поисковые работы по выявлению новых золоторудных объектов.

Материалом для выявления закономерностей размещения золотого оруденения и создание, особенностей его вещественного состава и определения критериев оценки его перспективности послужили результаты анализов более 25 тыс. литохимических и около 1,5 тыс. штучных проб, отобранных в районе Стадухинского рудного узла. Анализ литохимических проб проведен в лаборатории АОМЭ (Центргеология). Анализ штучных проб на золото (пробирный с ААС окончанием) и 35 химических элементов (методом ICP-AES) выполнялся в лаборатории ООО «Стюарт Геокемикл энд Эссей».

Обработка геолого-геохимических данных, включала оценку параметров местного геохимического фона, выделение аномальных геохимических полей, определение их связи с геологическими, минерагеническими, ландшафтными условиями проводилась на основе результатов многомерной статистики: корреляционного и факторного анализа с использованием программ Statistica и др. Для оценки перспективности выявляемых объектов производились расчеты площадных продуктивностей вторичных ореолов рассеяния. Исследование вертикальной геохимической зональности выполнено по программе Нью-2, так же проводились минералогические исследования и микротермометрическое изучение индивидуальных включений.

Основным этапом интрузивного магматизма Стадухинского рудно-россыпной района, с которым связана активная гидротермальная деятельность, является конец раннего мела 113-100 млн. лет на территории района в результате внедрения гранитоидов сформировалась купольно-

кольцевая структура диаметром около 80 км. В развитии локальных рудно-магматических систем (РМС) выделены этапы, связанные с разными фазами внедрения гранитоидов и формирования 3-х основных типов золотого оруденения: золото-редкометального, золото-кварцевого (березитового) и золото-серебряного [2].

Рудоносные структуры в Стадухинском магматогенном поднятии сочетают в себе отрицательные (кальдерообразные) морфоструктуры, сводовые части которых отчетливо выделяются в современном рельефе с радиально-концентрическим рисунком гидросети. Интрузивно-купольные структуры, являющиеся локальными рудогенерирующими центрами, легко дешифрируются на аэро- и космоснимках и выделяются как приоритетные для детального опознания.

Рудоконтролирующие факторы и поисковые признаки для золото-редкометального типа оруденения, связанного с интрузиями в пределах Стадухинском рудно-россыпном районе характерно размещение в центральных и периферийных локальных магматических очагов. По составу это как правило монцониты, монцодиориты, диориты, гранодиориты ранней фазы внедрения. Локализация в северо-восточных и северо-западных системах разрывных нарушений. Структурно-морфологический тип оруденения это параллельные жилы в трещинах скола протяженностью 50-1000 м, мощностью: 0,2-1,5 м.

Вторичные ореолы золота с содержаниями (доля высоких $>0,1$ г/т содержаний в ореолах 5-10%) характеризуются прерывисто-цепочечной морфологией, с площадной продуктивностью $P=5-50 \text{ м}^2\%$. Ожидаемые средние содержания золота в рудах по данным штучного опробования около 4,6 г/т. Геохимические ассоциации в рудах $\text{Au}_{1531}\text{As}_{380}\text{Bi}_{22}\text{S}_{13}\text{Te}_{12}\text{Sb}_{11}\text{W}_8\text{Cu}_6\text{Ag}_5\text{Se}_3\text{Fe}_2\text{Mo}_2$. Ожидаемые классы крупности золоторудных объектов мелкий-средний.

Рудоконтролирующие факторы и поисковые признаки для золото-кварцевого (березитового) типа, размещение в центральном магматическом очаге и апофизы ближней периферии на пересечении радиальных разрывных нарушений. Состав рудоконтролирующих магматических образований граниты, гранодиориты поздней фазы внедрения. Локализация в северо-восточных и субширотных системах разрывных нарушений. Структурно-морфологический тип: жилы замещения, линзы, прожилки в березитах по контракционным трещинам протяженностью 50-1000 м, мощностью: 2-20 м.

Аномальное поле золота в рыхлых образованиях (доля высоких $>0,1$ г/т содержаний в ореолах $>20\%$, $P=25>100 \text{ м}^2\%$.) имеет сложное строение. «Блочная» форма локальных аномалий на массиве Кекура (где наиболее ярко проявлен данный тип) в восточной части массива связана с выходами на поверхность мощных зон полнопроявленных березитов с кварцевыми жилами замещения, содержащими промышленные запасы золота. Содержания золота в рудах по данным штучного опробования ожидаются на уровне 23,9 г/т. Рудная ассоциация -

Au₇₉₆₉As₈₀₂Sb₁₆Ag₁₅S₈Pb₂. Ожидаемые классы крупности золоторудных объектов средний-крупный.

Рудоконтролирующие факторы и поисковые признаки для золото-серебряного, типа оруденения. Золото-серебряное оруденение **Au₁₁₈₁As₄₈₃Ag₁₅₆Sb₂₆Pb₁₈Cd₈Mo₃Cr₃Cu₂**

Zn₂S₂Be₂ распространено на периферии магматогенного поднятия в породах осадочной рамы. Приурочено к системам разрывных нарушений, вмещающих серии даек, и представлено небольшими по протяженности (20-200 м) и мощности (0,2-0,5 м.) кварцевым жилам. Выделяется по среднеинтенсивным вторичным ореолам Au (доля высоких (>0,1 г/т) содержаний в ореолах 1-10%, P=5-10 м²%), Ag, As, Pb, Cu и Zn, образующим прерывистые линейные аномальные зоны. Ожидаемые средние содержания золота в рудах по данным штуфного опробования 3,5 г/т, по крупности – мелкий объект.

Общие показатели вертикальной геохимической зональности для оценки степени эродированности РМС - *AgSbPb/WMoCu, AgSbPb/WMoAs*.

Литература

1. Волков А. В., Сидоров А. А., Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. 2018. № 3 (31).
2. Николаев Ю. Н., Балыкова И. В., Кузин С. В., Бакшеев И. А., Аплеталин А. В., Прокофьев В. Ю., Власов Е. А., Калько И. А., Косятов В. В. Состав, условия формирования, закономерности размещения и зональность золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка) // Руды и металлы. 2023. № 3. С. 78–89.
3. Hart, C.J.R., McCoy, D., Goldfarb, R.J., Smith, M., Roberts, P., Hulstein, R., Blake, A.A., Bundtzen, T.K. Geology, exploration and discovery in the Tintina gold province, Alaska and Yukon // Soc. Econ. Geol. Spec. Publ. 2002. №. 9, P. 241–274.
4. Lang, J.R., Baker, T., Hart, C.J.R., Mortensen, J.K. An exploration model for intrusion-related gold systems // Soc. Econ. Geol. Newsl. 2000. №. 40, P. 1–15.