

# УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, член-

корреспондент РАН Крук Николай Николаевич

2024 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)**

на основании решения заседания Лаборатории метаморфизма и метасоматизма (№ 440).

Диссертация «Минералообразующая и транспортная функции грязевулканических систем» выполнена в Лаборатории метаморфизма и метасоматизма (№ 440) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Кох Светлана Николаевна, 1982 года рождения, гражданство РФ, окончила в 2006 году с отличием магистратуру геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»), по специальности «Геология» со специализацией «Петрология». В 2009 году в диссертационном совете, созданном на базе ИГМ СО РАН, защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «Минералогия, кристаллография» на тему «Минералогия и условия образования пирогенных пород комплекса Наби Муса, западный берег р. Иордан».

С 2002 года по настоящее время соискатель Кох Светлана Николаевна работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН) в должности лаборанта-исследователя, младшего научного сотрудника, научного сотрудника и старшего научного сотрудника (с 2014 года).

**Научный консультант:** Сокол Эллина Владимировна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Текст диссертации был проверен в системе «Антиплагиат» и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

По итогам обсуждения диссертационного исследования «Минералообразующая и транспортная функции грязевулканических систем», представленного на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», принято следующее заключение:

- **Оценка выполненной соискателем работы**

Диссертационная работа выполнена на высоком научно-методическом уровне, является полноценным комплексным исследованием, имеющим новизну, теоретическую и практическую значимость. Выводы аргументированы и соответствуют поставленным задачам.

- **Актуальность темы диссертационного исследования**

Внимание к явлению грязевого вулканизма обусловлено его генетической связью с процессами нефте- и газогенерации. По этой причине неизменно актуальна реконструкция глубины расположения корней грязевулканических аппаратов, определение их связи с режимом диагенеза осадков и оценка объемов газов, которые грязевые вулканы поставляют в атмосферу. На сегодня нерешенными остаются такие вопросы, как реконструкция источников флюидов и осадочного материала, питающих конкретные резервуары; оценки масштабов флюидопотоков и режимов их разгрузки; тенденции фракционирования элементов в ходе развития грязевулканических систем; геохимическая специализация и интенсивность микроэлементной нагрузки в пределах отдельных объектов и территорий. Минеральное вещество грязевулканических систем и главные тренды его эволюции до последнего времени оставались охарактеризованными на уровне подходов и представлений 1920 - 1980-х годов. Тогда как актуальных данных, полученных с использованием современных техник анализа, недостаточно для характеристики минералообразующего потенциала данного геологического явления и создания минералого-геохимической модели эволюции вещества грязевулканических систем. Данная работа в значительной мере посвящена решению перечисленных проблем.

- **Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

Соискателем были сформулированы научные задачи исследования, основанного на полевом материале, отбор которого был выполнен с 2008 по 2021 гг. при ее личном участии. Выполнен комплекс аналитических исследований продуктов выбросов грязевых вулканов; созданы взаимосогласованные базы данных и подготовлены графические материалы; сформулированы граничные условия для построения теплофизических моделей; дана генетическая интерпретация всего комплекса полученной информации. С 2010 года соискатель являлся руководителем трех грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и двух грантов РФФИ, а также основным исполнителем двух проектов РНФ и двух интеграционных проектов.

Данные проекты сосредоточены на минералого-геохимических аспектах явления грязевого вулканизма.

- **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Высокая степень достоверности научных результатов обеспечена комплексным подходом к изучению выбранных объектов и взаимопроверкой полученных результатов несколькими независимыми методами. Он включал экспедиционные работы, лабораторные исследования, выполненные с использованием современных прецизионных методов анализа, а также экспериментальные работы и математическое моделирование. Основные результаты работы прошли экспертную оценку в международных и Российских научных журналах и были опубликованы в 25 статьях в журналах из перечня ВАК и изданиях, входящих в международные реферативные базы данных. Полученные результаты неоднократно докладывались и получили одобрение специалистов на международных и всероссийских конференциях и совещаниях.

- **Научная новизна результатов проведенных исследований**

Установлены геохимические особенности, присущие продуктам деятельности грязевых вулканов нескольких регионов, контрастных по строению осадочного чехла и тектонической позиции. Впервые оценен вклад грязевых вулканов в микроэлементный баланс сопредельных ландшафтов.

Выявлены факторы, контролирующие формирование аккумуляций континентальных боратов, генетически связанных с процессом грязевого вулканизма. Доказано, что грязевые вулканы являются геологическим источником атмосферной ртути.

Создан алгоритм количественной оценки дебета метановых факелов, построена серия их теплофизических моделей, что позволило впервые определить объем метановой эмиссии в ходе катастрофических извержений. Впервые выполнены количественные оценки теплового воздействия прямоточных факелов на окружающие породы. Реконструированы режимы генерации и кристаллизации пирогенных расплавов.

Доказано, что минералообразующая функция грязевого вулканизма реализуется при разгрузке на поверхность минерализованных вод и газовых струй. Обоснованы минералого-геохимические критерии распознавания минералов, являющихся производными грязевулканического процесса.

- **Практическая значимость проведенных исследований**

Полученные минералого-геохимические данные могут быть использованы для оценки экологических рисков, обусловленных воздействием грязевых вулканов на сопредельные ландшафты. Результаты исследований пирогенных пород могут быть востребованы при оптимизации технологий производства огнеупорных керамик.

- **Ценность научных работ соискателя ученой степени**

Для грязевых вулканов четырех регионов был получен массив современных аналитических данных и созданы взаимосогласованные базы изотопных, геохимических и минералогических характеристик существующих грязевулканических продуктов. На этом основании был выполнен анализ минералообразующих процессов в рамках явления грязевого вулканизма, выявлены минералы-индикаторы различных его этапов и охарактеризованы тренды

минералого-геохимической эволюции вещества газо- и водонасыщенных осадков, перемещенных из глубин осадочного разреза на дневную поверхность.

Доказано, что образование и размещение аккумуляций Ca и Na-Ca боратов, генетически связанных с явлением грязевого вулканизма, контролируют те же физико-химические и ландшафтно-климатические факторы, что и в случае месторождений боратов вулканогенно-соленосного типа. Впервые получены прямые доказательства того, что целиком отработанные 90 лет назад скопления Ca и Na-Ca боратов, генетически связанные с активными грязевыми вулканами, в настоящее время восстанавливаются.

Предложены новые критерии поиска древних грязевулканических построек. Доказано, что тела травертинов с уникальным аномально-тяжелым изотопным составом кислорода и углерода карбонатов, формируются в связи с зонами разгрузки изотопно-тяжелой воды и CO<sub>2</sub> через аппараты грязевых вулканов и на этом основании могут служить маркерами палеоисточников грязевулканических вод. Индикатором палеозон разгрузки грязевулканических газов на поверхность являются пирогенные породы, возникающие при горении заглубленных метановых факелов в ходе извержений грязевых вулканов.

- **Внедрение результатов докторской диссертации в практику**

Были даны количественные оценки эмиссии Hg<sup>0</sup> грязевыми вулканами в атмосферу. Полученные данные впервые позволили рассматривать грязевые вулканы в качестве автономного геологического источника атмосферной ртути. Был разработан авторский подход к количественной оценке объема метана, поставляемого в атмосферу в ходе катастрофических извержений грязевых вулканов. В перспективе вклад явления грязевого вулканизма в региональный и глобальный атмосферный бюджет Hg<sup>0</sup> и метана должен быть учтен.

- **Научная специальность, которой соответствует докторская диссертация**

Результаты работы соответствуют паспорту научной специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» по следующим пунктам:

1 – Минералогия земной коры и глубинных геосфер Земли, ее поверхности и дна водоемов; минералогия внеземных объектов; минералогия техногенных образований; биоминералогия.

3 – Генетическая минералогия, исследование парагенезисов минералов и эволюции минералогенеза в природных и техногенных системах; экспериментальная минералогия.

13 – Изучение химического состава природного вещества в геологических и связанных с ними системах (земной коре, глубинных геосферах Земли, гидросфере, атмосфере, техносфере, внеземных объектах, живом веществе) и процессах, исследование состояния, форм нахождения, закономерностей распространенности и поведения (распределения, концентрирования, фракционирования) химических элементов и их изотопов.

14 – Теория и методы оценки количеств, состояния и форм нахождения химических элементов и их изотопов в природе; разработка принципов и методов физико-химического моделирования геохимических систем и процессов, методов математической обработки геохимических данных и математического моделирования геохимических процессов.

18 – Выявление, изучение и геологическая интерпретация ассоциаций химических элементов, характерных для продуктов различных геологических процессов, включая месторождения полезных ископаемых

•**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

По результатам исследования автором опубликовано 57 работ, в том числе 25 статей в рецензируемых журналах (категория К1 – 19 статей, категория К2 – 6 статей) из «Перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», определенного Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России, 1 глава в монографии, 27 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций (из них 12 зарубежных).

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Kokh S.N., Sokol E.V. Combustion metamorphism in mud volcanic events: a case study of the 6 May 2000 fire eruption of Karabetova Gora mud volcano // Minerals. – 2023. – Vol. 13. – Art. 355.
2. Deev, E.V., Kokh, S.N., Dublyansky, Y., Sokol, E.V., Scholz, D., Rusanov, G.G., Reutsky, V.N. Travertines of the South-Eastern Gorny Altai (Russia): implications for paleoseismology and paleoenvironmental conditions // Minerals. – 2023. – Vol. 13. – Art. 259.
3. Kokh, S.N., Sokol, E.V., Gustaytis, M.A., Sokol, I.A., Deviatiiarova, A.S. Onshore mud volcanoes as a geological source of mercury: case study from the Kerch Peninsula, Caucasus continental collision zone // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 751. – Art. 141806.
4. Deev, E., Dublyansky, Y., Kokh, S., Scholz, D., Rusanov, G., Sokol, E., Khvorov, P., Reutsky, V., Panin, A. Large Holocene paleoseismic events and synchronized travertine formation: a case study of the Kurai fault zone (Gorny Altai, Russia) // International Geology Review. – 2022. – Vol. 65(15). – P. 2426–2446.
5. Sokol E.V., Kokh S.N., Nekipelova A.V., Abersteiner A., Seryotkin Yu.V., Ershov V.V., Nikitenko O.A., Deviatiiarova A.S. Ge-Hg-rich sphalerite and Pb, Sb, As, Hg, and Ag sulfide assemblages in mud volcanoes of Sakhalin Island, Russia: an insight into possible origin // Minerals. – 2021. – Vol. 11. – Art. 1186.
6. Kokh S.N., Sokol E.V., Gustaytis M.A. Mercury anomaly in Oligocene-Miocene Maykop Group sediments (Caucasus continental collision zone): mercury hosts, distribution, and sources // Minerals. – 2021. – Vol. 11. – Art. 751.
7. Sokol E.V., Kokh S.N., Sharygin V.V., Danilovsky V.A., Seryotkin Yu.V., Liferovich R., Deviatiiarova A.S., Nigmatulina E.N., Karmanov N.S. Mineralogical diversity of Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>-bearing combustion metamorphic rocks in the Hatrurim Basin: implications for storage and partitioning of elements in oil shale clinkering // Minerals. – 2019. – Vol. 9. – Art. 465.
8. Sokol E.V., Kokh S.N., Kozmenko O.A., Lavrushin V.Yu., Belogub E.V., Khvorov P.V., Kikyadze O.A. Boron in an onshore mud volcanic environment: Case study from the Kerch Peninsula, the Caucasus continental collision zone // Chemical Geology. – 2019. – Vol. 525. – P. 58–81.
9. Rashchenko, S.V., Seryotkin, Y.V., Sokol, E.V., Kokh, S.N. Incommensurately modulated crystal structure of flamite - natural analogue of  $\alpha'$ H-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> // Acta

10. Кох С.Н., Сокол Э.В., Деев Е.В., Ряполова Ю.М., Русанов Г.Г. Индикаторные характеристики современных и палеотравертинов Горного Алтая // Доклады Академии Наук. – 2018. – Т. 483. – № 2. – С. 180–185.
11. Sokol, E., Kokh, S., Kozmenko, O., Novikova, S., Khvorov, P., Nigmatulina, E., Belogub, E., Kirillov, M. Mineralogy and geochemistry of mud volcanic ejecta: a new look at old issues (a case study from the Bulganak Field, Northern Black Sea) // Minerals. – 2018. – Vol. 8. – Art. 344.
12. Kokh S.N., Sokol E.V., Dekterev A.A., Kokh K.A., Rashidov T.M., Tomilenko A.A., Bul'bak T.A., Khasaeva A., Guseinov A. The 2011 strong fire eruption of Shikhzarli mud volcano, Azerbaijan: a case study with Implications for methane flux estimation // Environmental Earth Sciences. – 2017. – Vol. 76. – Art. 701.
13. Алиев Ад.А., Лаврушин В.Ю., Кох С.Н., Сокол Э.В., Петров О.Л. Изотопный состав серы пирита из выбросов грязевых вулканов Азербайджана // Литология и полезные ископаемые. – 2017. – № 5. – С. 409–419.
14. Kokh S.N., Sokol E.V., Deev E.V., Ryapolova Y.M., Rusanov G.G., Tomilenko A.A., Bul'bak T.A. Post-Late Glacial calcareous tufas from the Kurai Fault Zone (Southeastern Gorny Altai, Russia) // Sedimentary Geology. – 2017. – Vol. 355. – P. 1–19.
15. Kokh S., Dekterev A., Sokol E., Potapov S. Numerical simulation of an oil-gas fire: a case study of a technological accident at Tengiz oilfield, Kazakhstan (06.1985-07.1986) // Energy Exploration and Exploitation. – 2016. – Vol. 34(1). – P. 77–98.
16. Kokh S.N., Shnyukov Y.F., Sokol E.V., Novikova S.A., Kozmenko O.A., Semenova D.V., Rybak E.N. Heavy carbon travertine related to methane generation: a case study of the Big Tarkhan cold spring, Kerch Peninsula, Crimea // Sedimentary Geology. – 2015. – Vol. 325. – P. 26–40.
17. Sokol, E.V., Seryotkin, Y.V., Kokh, S.N., Vapnik, Y., Nigmatulina, E.N., Goryainov, S.V., Belogub, E.V. and Sharygin, V.V. Flamite,  $(\text{Ca},\text{Na},\text{K})_2(\text{Si},\text{P})\text{O}_4$ , a new mineral from ultrahigh-temperature combustion metamorphic rocks, Hatrurim Basin, Negev Desert, Israel // Mineralogical Magazine. – 2015. – Vol. 79(3). – P. 583–596.
18. Оленченко В.В., Шнюков Е.Ф., Гаськова О.Л., Кох С.Н., Сокол Э.В., Бортникова С.Б., Ельцов И.Н. Динамика извержения грязевого вулкана на примере сопки Андрусова (Булганакский грязевулканический очаг, Керченский полуостров) // ДАН. – 2015. – Т. 464. – №2. – С. 214–219.
19. Sokol E.V., Kokh S.N., Vapnik Ye., Thiéry V., Korzhova S.A. Natural analogues of belite sulfoaluminate cement clinkers from Negev desert, Israel // American Mineralogist. – 2014. – Vol. 99. – P. 1471–1487.
20. Деев Е.В., Кох С.Н., Сокол Э.В., Зольников И.Д., Панов В.С. Грязевый вулканизм как показатель позднеплейстоцен-голоценовой активности северо-восточного окончания Чилик-Кеминского разлома (Илийская впадина, Северный Тянь-Шань) // Доклады РАН. – 2014. – Т. 459. – №3. – С. 321–326.
21. Grapes R., Sokol E., Kokh S., Fishman I., Kozmenko O. Petrogenesis of unusual Na-rich paralavas during flame eruptions of mud volcanoes, Altyn-Emel National Park, Kazakhstan // Contribution to Mineralogy and Petrology. – 2013. – Vol. 165. – P. 781–803.
22. Seryotkin Yu.V., Sokol E.V., Kokh S.N. Natural pseudowollastonite: crystal structure, associated minerals, and geological context // Lithos. – 2012. – Vol. 133-135. – P.75–90.

23. Сокол Э.В., Козьменко О.А., Кох С.Н., Вапник Е. Газовые коллекторы района Мертвого Моря – реконструкция на базе геохимических характеристик паралав // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – №8. – С. 975–997.
24. Sokol E., Novikov I., Zateeva (Kokh) S., Vapnik Ye., Shagam R., Kozmenko O. Combustion metamorphism in Nabi Musa dome: new implications for a mud volcanic origin of the Mottled Zone, Dead Sea area // Basin Research. – 2010. – Vol. 22. – P. 414–438.
25. Сокол Э.В., Новиков И.С., Затеева (Кох) С.Н., Шарыгин В.В., Вапник Е. Пирометаморфические породы спуррит-мервинитовой фации как индикаторы зон разгрузки залежей углеводородов (на примере формации Хатруим, Израиль) // Доклады РАН. – 2008. – Т. 420. – №1. – С. 104–110.

В иных изданиях (статьи в рецензируемых журналах, не входящих в список ВАК):

1. Девятаярова А.С., Сокол Э.В., Новикова С.А., Кох С.Н., Кириллов М.В., Хворов П.В., Белогуб Е.В., Гусаков И.Н. Шлихо-минералогический анализ выбросов грязевых вулканов Керченско-Таманского региона // Вопросы Естествознания. – 2018. – Вып. №1 (15). – С. 77–84.
2. Кох С.Н., Новикова С.А., Сокол Э.В., Козьменко О.А., Меленевский В.Н., Маслаков Н.А. Современная минералообразующая система сопки Обручева (Булганакский грязевулканический очаг, Керченский полуостров) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2015. – №2. – С. 123–146.
3. Кох С.Н., Дектерев А.А., Сокол Э.В. Теплофизическая модель природного гигантского короткоживущего газового факела: на примере извержения грязевого вулкана Карабетова гора, 2000 г (Тамань) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2015. – №1. – С. 58–68.
4. Кох С.Н., Дектерев А.А., Рашидов Т.М., Хасаева А.Б., Гусейнов А.Р. Огненное извержение грязевого вулкана Шихзарли 13 марта 2011 года, Азербайджан: теплофизическая модель газового факела // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2015. – №7/8. – С. 3–8.

Главы в монографиях:

1. Fishman, I. L., Kazakova, Yu. I., Sokol, E. V., Stracher, G. B., Kokh, S. N., Polyansky, O. P., Vapnik, Ye., White, Ye., Bajadilov, K. O. Mud volcanism and gas combustion in the Yli Depression, Southeastern Kazakhstan, Chapter 14 in Coal and peat fires: a global perspective. Volume 2 // Ed. by G.B. Stracher, A. Prakash, and E.V. Sokol. – Amsterdam: Elsevier, 2013. –P. 217-232.

**Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на научных конференциях:**

Федоровская сессия (Санкт-Петербург, 2008 г.)

IV–VII Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2008, 2010, 2012, 2014 гг.).

First World Young Earth-Scientists Congress (Пекин, Китай, 2009 г.).

IV, V и VII Международная научная конференция молодых ученых и студентов (Баку, Азербайджан, 2011, 2013, 2018 гг.).

Международная конференция «Углеводородный потенциал больших глубин: энергетические ресурсы будущего – реальность и прогноз» (Баку, Азербайджан, 2012 г.).

International Scientific Conference Humboldt-Kolleg (Краков, Польша, 2017 г.).  
18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018  
(Албена, Болгария, 2018 г.).  
Международная конференция Goldschmidt (Барселона, Испания, 2019 г.).  
III и IV Всероссийская научная конференция «Геодинамические процессы и  
природные катастрофы» (Южно-Сахалинск, 2019, 2021 гг.).

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 25.01.2024 г.) и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включенными в диссертацию.

Диссертационная работа Кох С.Н. «Минералообразующая и транспортная функции грязевулканических систем» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Заключение принято на заседании расширенного семинара Лаборатории метаморфизма и метасоматизма № 440 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук. Присутствовали на заседании 29 человек, из них 8 сотрудников лаборатории, 9 членов диссертационного совета 24.1.050.02, 13 докторов геолого-минералогических наук, 1 доктор химических наук, 13 кандидатов геолого-минералогических наук. Результаты открытого голосования по вопросу принятия заключения по диссертации Кох С.Н.: «за» - 29 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел.

**Председательствующий на заседании**

д.г.-м.н., заведующий Лабораторией  
метаморфизма и метасоматизма (№ 440) ИГМ  
СО РАН

 / Голянский О.П./