

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Института
вулканологии и сейсмологии
Дальневосточного отделения
Российской академии наук,
член-корреспондент РАН
Алексей Юрьевич Озеров



«24» октября 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской
академии наук (ИВиС ДВО РАН)**

на основании решения Ученого совета ИВиС ДВО РАН.

Председатель Ученого совета – А.Ю. Озеров, д.г.-м.н., член-корреспондент РАН.

И.о. ученого секретаря – А.А. Долгая, к.ф.-м.н.

Диссертация «Ультракислые сульфатно-хлоридные воды вулcano-гидротермальных систем Курильских островов» выполнена в Лаборатории постмагматических процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН).

Калачева Елена Геннадьевна, 1971 года рождения, гражданство РФ, окончила Читинский политехнический институт (в настоящее время – Забайкальский государственный университет) в 1994 году, получив специальность «горный инженер – гидрогеолог». В 2004 г. на Объединенном институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» на тему «Геохимические особенности подземных вод в областях активного вулканизма (на примере хребта Вернадского, о. Парамушир)».

С 1994 года по настоящее время соискатель Калачева Елена Геннадьевна работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН), в должности инженера (1994–1995 гг.), младшего научного сотрудника (1995–1997 гг.), научного сотрудника (1997–2004 гг.), старшего научного сотрудника (2004–2015 гг.), заведующего лабораторией (2015–2018 гг.) и заместителя директора по научной работе (с 2018 г.).

Научный консультант – доктор геолого-минералогических наук Таран Юрий Александрович, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН).

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

С диссертацией ознакомились специалисты: д.г.-м.н. Ю.А. Таран, д.г.-м.н. Г.А. Карпов, д.г.-м.н. С.Н. Рычагов. Специалисты дали положительную оценку диссертационной работе Е.Г. Калачевой.

По итогам обсуждения диссертации «Ультракислые сульфатно-хлоридные воды вулcano-гидротермальных систем Курильских островов», представленной 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

Один из наиболее специфических типов термальных вод, разгружающихся на вулканах, представлен ультракислыми ($\text{pH} < 4$) $\text{SO}_4\text{-Cl}$ или Cl-SO_4 (в зависимости от мольного отношения сульфат/хлор) вулканическими водами (Acid Sulfate Chloride, ASC-водами). Их формирование происходит в результате конденсации кислых магматических газов (SO_2 , HCl и HF) в подземных водах в близповерхностных условиях. Встречаются такие воды в виде кратерных озер и термальных источников, расположенных вблизи эруптивных центров, где сосредоточена разгрузка магматических летучих компонентов на поверхности (кратера, экструзивные купола и др.).

Интерес к ультракислым водам связан с тем, что они являются продуктом «очистки» («scrubbing») вулканических газов, что делает их потенциальными инструментами для мониторинга вулканической активности. Кроме того, в этих водах концентрируются металлы, за счет растворения как магматических летучих соединений, так и вмещающих пород. Поэтому изучение геохимии подобных вод позволяет понять процессы формирования эпитермальных рудных месторождений. В то же время, кратерные озера и термальные источники с подобным типом вод содержат ряд элементов в концентрациях, превышающих установленные нормы качества поверхностных вод, что приводит к загрязнению речных и морских вод. И, наконец, скорость химической эрозии вулканических построек многократно увеличивается за счет взаимодействия с ультракислыми водами.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Диссертационная работа основана на материалах многолетних полевых исследований, проводимых лабораторией постмагматических процессов Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН) на Курильских островах. Начиная с 2003 г., все экспедиционные исследования проводились под руководством и при непосредственном участии Е.Г. Калачевой. Основной массив данных был получен в рамках тем НИР ИВиС ДВО РАН, а также в ходе реализации и при финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-17-20011 (Е.Г. Калачева – ответственный исполнитель и координатор) и № 20-17-00016 (руководитель), проекта РФФИ № 20-05-00517 (руководитель).

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Высокая степень достоверности полученных научных результатов подтверждается:

- 1) значительным объемом фактического материала, полученным непосредственно автором;
- 2) новейшими теоретическими положениями и унифицированным подходом при геохимическом описании гидротермальных систем;
- 3) использованием современного высокоточного оборудования в сертифицированных аналитических лабораториях;
- 4) успешной апробацией основных положений на различных российских и международных совещаниях и конференциях;
- 5) публикациями в рецензируемых российских и международных периодических изданиях;
- 6) эффективным выполнением работ в ходе реализации грантов ДВО РАН, РФФИ и РНФ;
- 7) дипломом лауреата премии ДВО РАН имени выдающихся ученых Дальнего Востока России.

Научная новизна результатов проведенных исследований

1. Впервые сделано унифицированное геохимическое описание вулканогидротермальных систем с горизонтами ASC-вод Курильской островной дуги, основанное на современных аналитических данных.

2. Впервые, используя геохимические индикаторы, включая изотопный и химический состав (макро- и микроэлементы), проведена классификация ультракислых $\text{SO}_4\text{-Cl}$ (Cl-SO_4) термальных вод региона.

3. На основе измерения расходов водотоков, дренирующих термальные площадки с разгрузками ASC-вод, впервые рассчитаны выносы магматических летучих компонентов для 11 вулканогидротермальных систем 7 Курильских островов, что позволяет с хорошей точностью экстраполировать эти характеристики на всю Курильскую дугу.

4. Впервые оценены химическая эрозия вулканических построек с участием ультракислых вод и объем поступления петрогенных элементов в Охотское море и Тихий океан с кислыми речными водами.

Теоретическая и практическая значимость работы

Данные по отклику химического состава ASC-вод на вулканическую активность имеют большое значение для определения стратегии геохимического мониторинга состояния активных вулканов. Детальное изучение геохимии и гидрологии термальных вод Курильских островов позволит получить новые данные о геотермальном потенциале Курильских островов, дополнить сведения о современных процессах минералообразования в областях активного вулканизма. Количественные оценки выноса магматических летучих и породообразующих компонентов ультракислыми термальными водами необходимы для расчета геохимических циклов элементов в зонах субдукции. Количественные оценки скорости химической эрозии пород ультракислыми водами необходимы для прогноза устойчивости вулканических построек и оценки риска оползневых процессов. Данные, полученные в ходе исследования, могут быть использованы при составлении гидрогеологических карт Курильских островов. Впервые для широкого круга пользователей создана геоинформационная система по термоминеральным водам Курильских островов, основу которой составляют данные об ультракислых источниках островов Парамушир, Шиадоктан, Уруп, Итуруп и Кунашир.

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Доказано, что гидротермальные системы Курильских островов с горизонтами ультракислых $\text{SO}_4\text{-Cl}$ или Cl-SO_4 (ASC) вод связаны с активными вулканами, характеризующимися сложным строением и фреатической/фреато-магматической деятельностью. В зависимости от условий фильтрации и разгрузки выделяются три группы

ASC-вод: (1) классические, (2) разбавленные грунтовыми водами и (3) смешанные с Na-Cl водами. Они различаются по pH, температуре, минерализации и отношениям $\text{SO}_4/\text{Cl}/\text{F}$ и $(\text{Na}+\text{K})/(\text{Ca}+\text{Mg})/(\text{Al}+\text{Fe})$.

Каждая из групп ASC-вод Курильских островов (классические Al-Fe- SO_4 -Cl состава, разбавленные Ca-Cl- SO_4 (SO_4 -Cl) состава, смешанные Na-Cl- SO_4 состава) характеризуется индивидуальным набором микроэлементов, распределением коэффициентов переноса и поведением редкоземельных элементов.

В период магматической активности вулкана Эбеко наблюдается увеличение абсолютных концентраций анионов в термальных сульфатно-хлоридных водах с одновременным ростом отношения SO_4/Cl и изменением изотопного состава. Выявленные эффекты предвещают извержение, что связано с коротким временем водообмена в системе. Полученные результаты позволяют рассматривать данный тип вод как потенциально полезный объект для геохимического мониторинга вулканической деятельности.

Ежесуточно реками, дренирующими ультракислые гидротермальные системы островов, выносится в Тихий океан и Охотское море 230 ± 50 т магматического хлора и 410 ± 80 т серы. Измеренный гидротермальный поток магматических летучих (Cl и S) вдоль Курильской островной дуги неравномерен, но сопоставим с измеренным выносом газов фумаролами постоянно дегазирующих вулканов и должен учитываться при расчетах баланса летучих в зоне субдукции.

Научная специальность, которой соответствует диссертация

Результаты работы соответствуют паспорту научной специальности 1.6.4. «Минералогия. Кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» по геолого-минералогическим наукам по следующим пунктам:

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.

17. Геохимическое картирование, интерпретация геохимических карт и оценка на их основе параметров геохимических и биогеохимических систем.

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

21. Теория и практика геохимических методов прогноза, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых; геохимические исследования, сопровождающие разведку, разработку, обогащение и переработку полезных ископаемых.

22. Экологическая геохимия, геохимический мониторинг окружающей среды.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По результатам исследования автором опубликовано 74 работы, в том числе 28 статей в рецензируемых изданиях 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, четыре публикации по итогам экспедиционных работ, 42 публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций (из них 14 зарубежных).

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

1. Rychagov S.N., **Kalacheva E.G.**, Belousov V.I. Hydrodynamic structure of North-Paramushir hydrothermal-magmatic system (Kuril Island) // *Geothermal Energy – The Baseload Renewable Resource*. GRC, 2002. – p. 103-112.

2. **Калачева Е.Г.** Применение метода водного баланса для изучения условий питания подземных вод северной части о. Парамушир, Курильские острова // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2008. – № 2. – Вып. 12. – С. 87-94.

3. **Калачева Е.Г.**, Котенко Т.А. Химический состав вод и условия формирования Верхне-Юрьевских термальных источников (о. Парамушир, Курильские острова) // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2013. – № 2. – Вып. 22. – С. 55-68.

4. **Калачева Е.Г.**, Котенко Т.А. Гидрогеохимия западного склона вулкана Кунтоминтар (о. Шиашкотан, Курилы) // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2014. – № 2. – Вып. 24. – С. 12-26.

5. **Калачева Е.Г.**, Котенко Т.А., Котенко Л.В., Волошина Е.В. Геохимия термальных вод и фумарольных газов о. Шиашкотан (Курильские острова) // *Вулканология и сейсмология*. – 2014. – № 5. – С. 12-26.

6. **Kalacheva E.**, Taran Y., Kotenko T. Geochemistry and solute fluxes of volcano-hydrothermal systems of Shiashkotan, Kuril Islands // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2015. – V. 296. – P. 40-54.

7. **Калачева Е.Г.**, Рычагов С.Н., Королева Г.П., Нуждаев А.А. Геохимия парогидротерм Кошелевского вулканического массива (Южная Камчатка) // *Вулканология и сейсмология*. – 2016. – № 3. – С. 41-56.

8. **Kalacheva E.**, Taran Y., Kotenko T., Hattori K., Kotenko L., Solis-Pichardo G. Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2016. – V. 310. – P. 118-131.

9. **Калачева Е.Г.**, Таран Ю.А., Котенко Т.А., Ингуаджиато С., Волошина Е.В. Гидротермальная система вулкана Менделеева, о. Кунашир, Курильские острова: геохимия и вынос магматических компонентов // *Вулканология и сейсмология*. – 2017. – № 5. – С. 18-36.

10. **Kalacheva E.**, Taran Y., Voloshina E., Inguaggiato S Hydrothermal system and acid lakes of Golovnin caldera, Kunashir, Kuril Islands: Geochemistry, solute fluxes and heat output // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2017. – V. 346. – P. 10-20.

11. Inguaggiato S., Cardellini C., Taran Y., **Kalacheva E.** The CO₂ flux from hydrothermal systems of the Karymsky volcanic Centre, Kamchatka // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2017. – V. 346. – P. 1-9.

12. Taran Y., **Kalacheva E.**, Inguaggiato S., Cardellini C., Karpov G. Hydrothermal systems of the Karymsky Volcanic Centre, Kamchatka: Geochemistry, time evolution and solute fluxes // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2017. – V. 346. – P. 28-39.

13. **Калачева Е.Г.**, Таран Ю.А., Волошина Е.В., Котенко Т.А. Геохимия термальных вод о. Кетой (Курильские острова) // *Вулканология и сейсмология*. – 2018. – № 3. – С. 21-35.

14. Taran Y., Zelenski M., Chaplygin I., Malik N., Campion R., Inguaggiato S., Pokrovsky B., **Kalacheva E.**, Melnikov D., Kazahaya R., Fischer T. Gas Emissions From Volcanoes of the Kuril Island Arc (NW Pacific): Geochemistry and Fluxes // *Geochemistry, Geophysics and Geosystems*. – 2018. – V. 19(6). – P. 1859-1880.
15. Taran Y., **Kalacheva E.** Role of hydrothermal flux in the volatile budget of a subduction zone: Kuril arc, NW Pacific // *Geology*. – 2019. – V. 47(1). – P. 87-90.
16. **Калачева Е.Г.**, Таран Ю.А. Процессы, контролирующие изотопный состав (δD и $\delta^{18}O$) термальных вод Курильской островной дуги // *Вулканология и сейсмология*. – 2019. – № 4. – С. 3-17.
17. Taran Y., **Kalacheva E.** Seawater-rock interaction at Ushishir volcano-hydrothermal system, Kuril Islands // *E3S Web Conf.* 2019. – V. 98. – Art. 01049.
18. **Kalacheva E.**, Kotenko T., Voloshina E. Chemical weathering fluxes from Paramushir volcanic island (Kuril Island arc, Russia) // *E3S Web Conf.* 2019. – V. 98. – Art. 08007.
19. **Kalacheva E.** Processes Responsible of Variations in the $\delta^{18}O - \delta D$ values of Thermal Waters from the Kuril Islands (Russia) // *E3S Web Conf.* 2019. – V. 98. – Art. 12008.
20. Taran Y., **Kalacheva E.** Acid sulfate-chloride volcanic waters; Formation and potential for monitoring of volcanic activity // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2020. – V. 405. – Art. 107036.
21. Taran Y., **Kalacheva E.**, Dvigalo V., Melnikov D., Voloshina E. Evolution of the crater lake of Maly Semyachik volcano, Kamchatka (1965-2020) // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2021. – V. 418. – Art. 107351.
22. **Калачева Е.Г.**, Таран Ю.А., Котенко Т.А., Волошина Е.В. Геохимия кислых термальных вод острова Уруп (Курильские острова) // *Вулканология и сейсмология*. – 2021. – № 5. – С. 63-78.
23. **Калачева Е.Г.**, Мельников Д.В., Волошина Е.В., Карпов Г.А. Геохимия вод кратерного озера вулкана Малый Семячик // *Вулканология и сейсмология*. – 2022. – № 3. – С. 28-42.
24. **Калачева Е.Г.**, Волошина Е.В. Геохимическая характеристика термальных источников привершинной части вулкана Эбеко // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2022. – № 2. – Вып. 54. – С. 6-19.
25. **Калачева Е.Г.**, Таран Ю.А., Котенко Т.А., Волошина Е.В., Эрдниева Д.М. Кислые сульфатно-хлоридные воды вулкана Баранского (Итуруп, Курильские о-ва): состав и транспорт магматических и породообразующих компонентов // *Вулканология и сейсмология*. – 2022. – № 5. – С. 31-48.
26. **Калачева Е.Г.**, Котенко Т.А., Волошина Е.В., Эрдниева Д.Ю. Береговые термальные источники центральной части о. Итуруп: Макро- и микроэлементный составы // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2022. – № 3. – Вып. 55. – С. 32-44.
27. **Калачева Е.Г.**, Таран Ю.А., Волошина Е.В., Тарасов К.В., Мельников Д.В., Котенко Т.А., Эрдниева Д.Ю. Кратерное озеро Кипящее в кальдере вулкана Головинна: геохимия воды и газов, вынос магматических летучих // *Вулканология и сейсмология*. – 2023. – № 1. – С. 3-20.
28. Taran Y., **Kalacheva E.** Seawater hydrothermal system in the middle of the Kuril Arc: Yankich Island, Ushishir Archipelago // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2023. – V. 436. – Art. 107784.

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на научных конференциях:

Международный геотермальный конгресс (World Geothermal Congress) (Анталья, Турция, 2005 г.; Мельбурн, Австралия, 2015 г.; Рейкьявик, Исландия, 2021 г.),

Ассамблея Американского геофизического союза (American Geophysical Union) (Сан-Франциско, США, 2015 г.; Новый Орлеан, США, 2017 г.),

Ассамблея Европейского союза наук о Земле (European Geosciences Union) (Вена, Австрия, 2015, 2017, 2018 гг.),

Конференция Гольдшмидта (Goldschmidt) (Йокогама, Япония, 2016 г.),

Международный симпозиум «Взаимодействие вода-порода» (Томск, 2019 г.),

Всероссийское совещание по подземным водам востока России с международным участием (Новосибирск, 2018 г.; Иркутск, 2021 г.),

Всероссийская научная конференция с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Петропавловск-Камчатский, 2019, 2022 гг.),

Ежегодная научная конференция, посвященная Дню вулканолога (Петропавловск-Камчатский, 2011, 2013, 2015-2022 гг.)

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 раздела II Положения о порядке присуждения 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, включенным в диссертацию.

Диссертационная работа Елены Геннадьевны Калачевой «Ультракислые сульфатно-хлоридные воды вулcano-гидротермальных систем Курильских островов» 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 Ученого совета Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Присутствовало на заседании 16 чел. (в т.ч. 1 с правом совещательного голоса).

Результаты открытого голосования по вопросу о принятии заключения по диссертации Е.Г. Калачевой: «за» – 15 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 7 от 24 октября 2024 г.

Заключение подготовлено:
и.о. ученого секретаря,
к.ф.-м.н.



А.А. Долгая