

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.050.02 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В.С. СОБОЛЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ КИРИЧЕНКО ИВАНА СЕРГЕЕВИЧА НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
Решение диссертационного совета от 14 мая 2024 г. № 02/5

О присуждении **Кириченко Ивану Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация «**Минералого-геохимические особенности отложений термальных озёр кальдеры вулкана Узон**» по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых» принята к защите 13.03.2024 г., протокол № 02/4, диссертационным советом 24.1.050.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3), приказ МИНОБРНАУКИ России № 1113/нк от 23.05.2023 г.

Соискатель: Кириченко Иван Сергеевич, 1984 года рождения, в 2009 г. окончил магистратуру геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета по направлению 05.04.01 «геология». С 2009 по 2012 обучался в аспирантуре НГУ по специальности 25.00.09 «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» Соискатель работает научным сотрудником в ИГМ СО РАН. Диссертационная работа выполнена в лаборатории геохимии благородных и редких элементов (№ 218).

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук Жмодик Сергей Михайлович, главный научный сотрудник лаборатории благородных и редких элементов (№ 218) ИГМ СО РАН.

**Официальные оппоненты:** **Бычков Андрей Юрьевич**, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» доцент, профессор РАН, заведующий кафедрой геохимии Геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва; **Калачева Елена Геннадьевна**, кандидат геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», зам. директора по научной работе Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (г. Петропавловск-Камчатский) **дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки (ФГБУН) Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, в своем положительном заключении, подписанном **Таусоном Владимиром Львовичем**, доктором химических наук, заведующим лабораторией, **Макрыгиной Валентиной Алексеевной** доктором геолого-минералогических наук, главным научным сотрудником лаборатории моделирования геохимических процессов, **указала**, что представленная работа является законченным исследованием, в котором на основании обширного и очень детального материала по геохимическому и изотопному составу вод и донных отложений трех изученных в кальдере Узон Камчатки озер были выявлены интересные закономерности: изменение состава, скорости осадконакопления и периодичности изменения концентраций щелочных элементов во времени, которые при дальнейшей доработке могут быть использованы для прогноза наступления новых этапов катастрофизма в регионе.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ по теме диссертации в том числе 8 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Gorbarenko S. A., Shi X., Bosin A. A., Liu Y., Vasilenko Y. P., Yanchenko E. A., Kirichenko I.S., Utkin I. S., Artemova A. V., Malakhova G. Y. Highly resolved East Asian monsoon changes inferred from Sea of Japan sediments // *Global and Planetary Change*. – 2023. – Т. 220. – С. 103996. (Верификация, разработанного вейвлет алгоритма на реальных геохимических данных).

2. Кириченко И. С., Лазарева Е. В., Жмодик С. М. Выделение геохимических маркеров вулканизма кластерным методом анализа в донных отложениях термального озера фумарольного по данным РФА-СИ // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2022. – Т. 13. – №. S2. – С. 12-20.

3. Добрецов Н.Л., Жмодик С.М., Лазарева Е.В., Брянская А.В., Пономарчук В.А., Сарыг-оол Б.Ю., Кириченко И.С., Толстов А.В., Карманов Н.С. Структурно-морфологические признаки участия микроорганизмов в формировании богатых Nb–REE-руд Томторского месторождения (Россия) // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. - 2021. - Т.496. - № 2. - С.154-157. (Сопоставительный анализ данных о распределении изотопов углерода и кислорода в рудах Томторского месторождения с гидротермальными системами кальдеры Узон).

4. Lazareva E.V., Ponomarchuk V.A., Zhmodik S.M., Kirichenko I.S., Pyryaev A.N., Moroz T.N. Specific of stable carbon isotopes determination in organic-bearing sediments // *Journal of Siberian Federal University-Chemistry*. – 2021. – Т. 14. – №3. – С. 418-432.

5. Кириченко И.С., Лазарева Е.В., Жмодик С.М., Белянин Д.К., Добрецов Н.Л., Мирошниченко Л.В. Современное минералообразование в термальном озере Фумарольное (кальдера Узон, Камчатка) - ключ к палеореконструкции // *Записки РМО*. - 2019. - Т.148. - №1. - С. 3-15. [Kirichenko I.S., Lazareva E.V., Zhmodik S.M., Belyanin D.K., Miroshnichenko L.V. Modern mineral formation in the thermal lake Fumarolnoe (the Uzona caldera, Kamchatka) is the key to paleoreconstruction // *Geology of Ore Deposits*. – 2019. - V. 61. - №8. - P. 747–755.]

6. Saryg-ool B.Yu., Myagkaya I.N., Kirichenko I.S., Gustaytis M.A., Shuvaeva O.V., Zhmodik S.M., Lazareva E.V. Redistribution of Elements between Wastes and Organic-bearing Material in the Dispersion Train of Gold-Bearing Sulfide Tailings: Part I. Geochemistry and Mineralogy // Science of the Total Environment. – 2017. - V. 581–582. – P. 460–471. (изучались перспективы применения метода сканирования РФА СИ для анализа природных объектов с возможностью дальнейшего использования этого метода в сканировании термальных озер).

7. Добрецов Н.Л., Лазарева Е.В., Жмодик С.М., Брянская А.В., Морозова В.В., Тикунова Н.В., Пельтек С.Е., Карпов Г.А., Таран О.В., Огородникова О.Л., Кириченко И.С., Розанов А.С., Бабкин И.В., Шуваева О.В., Чебыкин Е.П. Геологические, гидрогеохимические и микробиологические особенности Нефтяной площадки кальдеры Узон (Камчатка) // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56. – № 1-2. – С. 56-88.

8. Кириченко И.С., Лазарева Е.В., Жмодик С.М., Белянин Д.К., Огородникова О.Л., Мирошниченко Л.В. Геохимические и минералогические особенности донного осадка грязевого котла "Сизый" (кальдера Узон, Камчатка) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 3. Ч.2. – С. 87-92.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов (все положительные) от: 1) **Астахова Анатолия Сергеевича**, доктора геолого-минералогических наук, главного научного сотрудника лаборатории геохимии осадочных процессов Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева ДВО РАН; 2) **Штокало Дмитрия Николаевича**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории моделирования сложных систем Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН; 3) **Саттаровой Валентины Владимировны**, кандидата геолого-минералогических наук, заведующей лабораторией геохимии осадочных процессов Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева ДВО РАН; 4) **Портнова Василия Сергеевича**, доктора технических наук, профессора кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова; 5) **Горбаренко Сергея Александровича**, доктора геолого-минералогических наук, главного научного сотрудника лаборатории палеоокеанологии и палеоклиматологии Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева ДВО РАН совместно с **Василенко Юрием Павловичем**, кандидатом географических наук, заведующим лабораторией палеоокеанологии и палеоклиматологии Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева ДВО РАН; 6) **Аксентова Кирилла Игоревича**, кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника лаборатории геохимии осадочных процессов Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева ДВО РАН 7) **Солотчина Павла Анатольевича**, доктора геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. 8) **Дамдинова Булата Батуевича**, доктора геолого-минералогических наук, заместителя генерального директора ФГБУ «ЦНИГРИ»

В отзывах отмечено, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, отмечают актуальность темы и новизну полученных результатов. Подчеркивается применение в работе комплекса методов многокомпонентной статистики и вейвлет анализа. Вынесенные на защиту положения сформулированы ясно, логически вытекают из выполненной работы и полностью обоснованы представительным фактическим материалом.

**Основные замечания и вопросы касаются:** 1) о форме нахождения в осадках группы элементов K-Rb-Cs (ведущая организация); 2) о сроках полевых работ и чувствительности методов аналитических исследований (официальный оппонент Калачева Е.Г.); 3) о некорректных выводах, полученных при интерпретации групп элементов, выделенных в термальных растворах кальдеры Узон с помощью кластерного анализа (официальный оппонент Бычков А.Ю.); 4) о природе европиевой аномалии в растворах термальных озер (ведущая организация, официальный оппонент Бычков А.Ю.); 5) об обосновании скоростей осадконакопления в термальных озерах (Аксентов К.И., Солотчин П.А.); 6) об изотопном составе донных отложений (Дамдинов Б.Б.); 7) о стилистических ошибках, опечатках, не для всех сокращений в тексте приведены расшифровки (ведущая организация, официальный оппонент Калачева Е.Г., Штокало Д.Н., Саттарова В.В.); 8) о неточностях при интерпретации данных об изотопных составах сульфатной и сульфидной серы в минералах донных отложений (официальный оппонент Бычков А.Ю.).

**Выбор официальных оппонентов обосновывается тем,** что Бычков Андрей Юрьевич и Калачева Елена Геннадьевна являются широко известными признанными экспертами в области геохимии и минералогии гидротермальных систем, имеют большое количество публикаций по данной тематике и способны объективно оценить работу.

**Выбор ведущей организации обосновывается тем,** что Федеральное государственное бюджетное учреждение науки (ФГБУН) Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук проводит фундаментальные и прикладные исследования по основным научным направлениям «Геохимия эндогенных процессов, химическая геодинамика», «Изотопная геология», «Геохимия процессов рудообразования, геохимические методы поиска месторождений полезных ископаемых», «Глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата (экологическая геохимия и палеоклиматология)», что соответствует тематике рассматриваемой диссертации. Высоко квалифицированные сотрудники ИГХ СО РАН могут объективно и обоснованно оценить научную значимость диссертационной работы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:** были определены возможные источники поступления химических элементов в растворы термальных озер кальдеры вулкана Узон. Получены новые данные о тонких особенностях распределения химических элементов в отложениях термальных озер. На этом основании были установлены главные минеральные фазы и соответствующие им ассоциации химических элементов, выделены элементы-индикаторы изменения гидротермальной активности.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что доказаны следующие положения:

- Статистическими методами анализа (метод главных компонент и кластерный анализ) установлено, что растворы оз. Фумарольное (IV озерко), оз. Хлоридное и котла Сизый в кальдере Узон (Камчатка) различаются долей поступления элементов из трёх источников: глубинного геотермального флюида (Li, Na, K, Rb, Cs, Cl, Br, I, B, Ge, As, Se, Mo, Sb, W), кислых растворов (Al, Ti, V, Be, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, REE), сформировавшихся в зоне окисления, и поверхностных ультрапресных холодных вод. При этом элементы Cu, Sr, Ca, Si, Ga, Se, Cr, Ni имеют двойной источник поступления - высокие концентрации характерны как для глубинных геотермальных растворов, так и для вод, формирующихся в результате смешения с кислыми сульфатными растворами.

- Результаты гамма-спектрометрических измерений свинца-210 свидетельствуют о различной скорости осадконакопления в исследуемых термальных озерах – оз. Фумарольное 0.2 мм в год, котёл Сизый - 0.72 мм в год. Осадки каждого из озёр характеризуются специфической минеральной ассоциацией: с преобладанием глинистых минералов (сметтит-каолинит) с мышьяково-сурьмяной минерализацией (оз. Фумарольное), либо с преобладанием самородной серы (оз. Хлоридное), или обогащенных пиритом (котел Сизый). Минералого-геохимические особенности осадков контролируются составом термальных растворов, питающих эти озера.

- Данные Фурье и вейвлет-анализов для фрагментов колонок донных отложений озера Фумарольного (растворы которого наименее разбавлены поверхностными водами), свидетельствуют о квазипериодичностях в распределении, щелочных элементов (K, Rb, Cs), частоты которых соответствуют периодам изменения приливных сил и вулканической активности.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что результаты исследования могут быть использованы: в качестве верификационных данных для расчетов термодинамических моделей гидротермального рудообразования; для оценки флуктуаций гидротермальной активности в данном регионе и её связи с внешними факторами; в качестве объекта сравнения при реставрации условий формирования гидротермальных отложений в присутствии микроорганизмов, как модель гидротермального минералообразования, и привлекаться для уточнения минералого-геохимических и изотопных параметров минеральных месторождений.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что в основу исследований положены материалы, отобранные автором совместно с сотрудниками лаборатории № 218 в ходе экспедиционных работ 2010-2013 гг. В процессе работы было детально изучено 3 керна донных отложений термальных озёр (длиной 40 см) и 11 проб термальных растворов.

Аналитические данные получены с помощью: рентгенофлуоресцентного сканирования с использованием синхротронного излучения, атомно-абсорбционной спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгенофазового анализа, гамма-спектрометрических измерений, изотопных методов анализа (изучение стабиль-

ных изотопов серы и углерода), ИСП-МС, метода высокоэффективной жидкостной хроматографии, метода капиллярного электрофореза, метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС).

Комплекс аналитических исследований выполнен на высокоточном оборудовании, прошедшем необходимые юстировки и техобслуживание. Твердый материал: СЭМ на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMU TESCAN Ltd.; рентгенофазовый анализ: дифрактометр ДРОН 4; рентгенофлуоресцентный анализ проведен на оборудовании ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ "Комплекс ВЭПП-3" в ИЯФ СО РАН, оснащенного Si(Li) полупроводниковым детектором производства фирмы "Oxford Instruments, атомно-абсорбционная спектрометрия на спектрометре Solar М6; гамма-спектрометрия: спектрометр «Coaxial p-type HPGE», Eurisyс measures; изотопные исследования: на масс-спектрометре FINNIGAN MAT 253 с приставкой GasBench II; а также с использованием газового изотопного масс-спектрометра Delta V Advantage. Водные растворы: ИСП-МС на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500се; ВЭЖХ с использованием системы «Prominence 20 LC», Shimadzu, Япония; капиллярный электрофорез: Капель 103-Р; ИСП-АЭС: на приборе «iCAP 6500», США.

**Теоретическая часть работы основана на анализе актуальных публикаций,** касающихся предметной области диссертации, включая вопросы о генезисе химических элементов в термальных растворах различных геотермально активных областей планеты, геохимических характеристиках отложений термальных водоемов. Также были рассмотрены работы, затрагивающие изучение современных методов математической обработки аналитических геохимических данных. Результаты, полученные в ходе исследовательской работы, согласуются с широко известными фактами.

**Доказаны следующие положения:**

Статистическими методами анализа (метод главных компонент и кластерный анализ) установлено, что растворы оз. Фумарольное (IV озерко), оз. Хлоридное и котла Сизый в кальдере Узон (Камчатка) различаются долей поступления элементов из трёх источников: глубинного геотермального флюида (Li, Na, K, Rb, Cs, Cl, Br, I, B, Ge, As, Se, Mo, Sb, W), кислых растворов (Al, Ti, V, Be, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, REE), сформировавшихся в зоне окисления, и поверхностных ультрапресных холодных вод. При этом элементы Cu, Sr, Ca, Si, Ga, Se, Cr, Ni имеют двойной источник поступления - высокие концентрации характерны как для глубинных геотермальных растворов, так и для вод, формирующихся в результате смешения с кислыми сульфатными растворами.

- Результаты гамма-спектрометрических измерений свинца-210 свидетельствуют о различной скорости осадконакопления в исследуемых термальных озерах – оз. Фумарольное 0.2 мм в год, котёл Сизый - 0.72 мм в год. Осадки каждого из озер характеризуются специфической минеральной ассоциацией: с преобладанием глинистых минералов (сметтит-каолинит) с мышьяково-сурьмяной минерализацией (оз. Фумарольное), либо с преобладанием самородной серы (оз. Хлоридное), или обогащенных пиритом (котел Сизый). Минералого-геохимические особенности осадков контролируются составом термальных растворов, питающих эти озера.

- Данные Фурье и вейвлет-анализов для фрагментов колонок донных отложений озера Фумарольного (растворы которого наименее разбавлены поверхностными водами), свидетельствуют о квазипериодичностях в распределении, щелочных элементов (K, Rb, Cs), частоты которых соответствуют периодам изменения приливных сил и вулканической активности.

**Личный вклад соискателя** состоит в отборе представительного материала в ходе экспедиционных работ на территории кальдеры вулкана Узон. В лабораторных условиях автором была проведена пробоподготовка материала и проведено сканирование РФА-СИ на станции общего пользования в ИЯФ СО РАН с использованием оборудования ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ «Комплекс ВЭПП-4М». При непосредственном участии автора изучен минеральный состав донных отложений методом электронной сканирующей микроскопии, а также проведены гамма-спектрометрические исследования. Для выяснения закономерностей в распределении химических элементов в кернах донных отложений изучаемых озер автором был написан и реализован программный код, рассчитывающий вейвлет и Фурье спектры. Основные результаты исследования опубликованы в 8 статьях и в 11 материалах конференций и тезисах.

На заседании 14 мая 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Кириченко Ивану Сергеевичу учёную степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 19 докторов наук по специальности 1.6.4, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 20, «против» - 0, «недействительных бюллетеней» - 0.

Председателя диссертационного совета,  
академик РАН



Н.П. Похиленко

Ученый секретарь диссертационного  
совета, д.г.-м.н.

О.Л. Гаськова

15.05.2024 г.