

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата геолого-минералогических наук Калачевой Елены Геннадьевны на диссертационную работу **Кириченко Ивана Сергеевича «МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРМАЛЬНЫХ ОЗЕР КАЛЬДЕРЫ ВУЛКАНА УЗОН»**, представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Работа И.С. Кириченко посвящена детальной геохимической характеристике отдельных типов термопроявлений и поверхностных вод кальдеры Узон, изучению минералого- и изотопно-геохимических особенностей донных отложений трех ее термальных озер. Кальдера Узон, расположенная в центральной части Восточного вулканического пояса полуострова Камчатка, совместно с вулканическими массивами Кихпиньч и Большой Семячик входит в Узон-Гейзерный геотермальный район, один из наиболее крупных геотермальных районов мира. Узон известен наличием крупной высокотемпературной гидротермальной системы, разгружающейся в виде разнообразных термопроявлений в северной части кальдеры.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 197 страниц машинописного текста. В ней содержится 105 рисунков и 25 таблиц. Список литературы включает 215 источников из российских и зарубежных изданий.

Во *Введении* (с. 4–14) отражена актуальность работ по данному направлению. Акцентируется внимание на особенностях диссертационного исследования. В разделе также обозначены цели и задачи работы, ее научная и практическая значимость, личный вклад автора, сформулированы три защищаемых положения.

В *Главе 1. Современное состояние проблемы* (с. 15–24) дается ряд терминологических характеристик, используемых в работе. По литературным данным приводится классификация и свойства геотермальных флюидов, генетическая и гидрохимические классификации вулканических озер. Здесь же делается краткий обзор изученности кальдеры Узон по минералогическому направлению.

В *Главе 2. Описание объекта* (с. 25–48) очень кратко обосновывается выбор трех озер в качестве объектов исследования. По литературным данным представлена геология и тектоника района, охарактеризована современная гидротермальная деятельность кальдеры Узон.

Глава 3 Методы исследования (с. 49–56) раскрывает перечень методов, использованных при проведении диссертационного исследования. Для изучения проб воды и осадков, полученных в ходе полевых работ, автором применены современные методы химического и изотопного анализа. Для определения скорости осадконакопления использован нетривиальный метод датирования, основанный на изотопии свинца. Временные закономерности в распределении химических элементов в донных отложениях изучены методом вейвлет и Фурье анализов.

В *Главе 4 Методологические разработки (вейвлет анализ)* (с. 57–69) описаны теория вейвлет анализа, обоснован выбор соответствующего вейвлета для временных рядов концентраций элементов, выявленных при изучении донных осадков термальных озер.

Глава 5 Результаты (с. 70–176) является основной главой диссертационной работы, в которой обосновываются все три защищаемых положения. Первый параграф главы направлен

на изучение макро и микроэлементного состава термальных вод различных типов, встречаемых в кальдере. Для интерпретации полученных данных используется кластерный анализ, нормированные профили распределения элементов, включая изучение поведения редкоземельных элементов. На основании полученных результатов формулируется *первое защищаемое положение*. Второй параграф посвящен особенностям донных отложений термальных вод. Наиболее информативным среди отобранных кернов стала колонка донных отложений IV озера (Залив Пийпа) оз. Фумарольное. Помимо гранулометрического состава, литологического строения и минералогии керна, автору удалось определить среднюю скорость осадконакопления. Результаты изучения минеральных ассоциаций в донных отложениях каждого из исследуемых озер, результаты измерений свинца-210 обосновывают *второе защищаемое положение*. С помощью метода вейвлет анализа установлено наличие периодичности во временном распределении содержания отдельных элементов в донных отложениях. Выявленные периоды связываются автором периодам циклических изменений в вулканической и сейсмической активности. На основании полученных выводов формулируется *третье защищаемое положение*.

Неоспоримым достоинством данного исследования является то, что к ранее опубликованным данным по общему химическому составу воды и осадков автор добавил уникальные сведения о их микрокомпонентном составе (более 50 элементов) с очень низким порогом определения, на уровне ppt (нанограммов/л) для воды и ppb (микрограммов/кг) для пород. Полученные автором данные по химическому составу обрабатывались в основном статистическими методами. И для вод, и для осадков статистически выделены основные самостоятельные группы элементов, поведение которых автор пытается объяснить различными процессами, включающими как приповерхностное смешение вод различного формирования, так и влияние глубинной составляющей, названное автором «магматогенным флюидом». Если статистические методы для описания геохимических особенностей различных природных объектов применялись и ранее, то применение метода вейвлет (2D Фурье преобразование) для установления периодичности временных рядов химических концентраций выполнено впервые. Кроме того, для реализации метода автором была создана компьютерная программа (на базе MATLAB) построения вейвлет-диаграммы. Фурье преобразование показало, что для калия и редких щелочей в колонке донных отложений оз. Фумарольное наблюдается циклическость во временном ряду концентраций с периодом около 500 лет. Объяснение этому автор находит в связи между поведением щелочных металлов в озерных осадках и глобальным циклом катастрофичности вулканической активности, также имеющим период около 500 лет.

В *Заключении* (с. 177–178) диссертант излагает обобщенные выводы проведенного исследования.

По объему и наполнению диссертации информацией можно сделать вывод, что автором проделана важная работа с несомненными признаками новизны, как в методологии, так и в полученных результатах. **Достоверность результатов диссертационной работы** определяется большим объемом геохимической и минералогической информации, полученной автором в процессе исследования, а также использованием комплекса прецизионных, в том числе впервые применяемых для изучения термальных озер, методов. В основу работы положен фактический материал, собранный диссертантом во время полевых работ на Камчатке в кальдере Узон в период с 2009 по 2013 гг.

Научная новизна результатов, полученных автором диссертации, с точки зрения оппонента, заключается в следующем:

1. Впервые к общеизвестным данным по химическому составу термальных вод и озерных осадков кальдеры Узон добавлены уникальные сведения об их микрокомпонентном составе, полученные для более, чем 50 элементов, с очень низким порогом определения, на уровне ppt (нанограммов/л) для воды и ppb (микрограммов/кг) для пород.
2. Методом РФА (рентгено-флюоресцентным анализ) сканирована колонка керна с разрешением 1 мм (примерно 400 точек на колонку).
3. Впервые для Камчатки применено датирование осадконакопления методом ^{210}Pb .
4. С помощью датировки оценено время отложения 2-х слоев тефры в колонке донных отложений оз. Фумарольное.
5. Для выяснения закономерностей в распределении химических элементов в кернах донных отложений изучаемых озер автором самостоятельно был написан и реализован программный код, рассчитывающий вейвлет и Фурье спектры.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы: 1) для изучения изменения интенсивности гидротермальных процессов в центральной части восточного вулканического пояса Камчатки; 2) для реконструкции палеоклиматических условий на Камчатке; 3) в качестве объекта сравнения при реставрации условий формирования гидротермальных отложений в присутствии микробиоты (микроорганизмов); 5) для изучения условий накопления и миграции токсичных элементов с термальными водами различных типов.

Замечания к работе:

- Глава 1 написана сумбурно, после классификации вулканических озер диссертант перескакивает на кальдеру Узон, затем переходит в общие рассуждения о влиянии приливов на сейсмические события и вулканическую активность. Не очень понятно, что этим хотел сказать автор. Кроме того, информация, представленная здесь, практически не учитывается в остальных главах.
- Глава 2 стилистически построена не совсем правильно. В разделе много литературных ссылок и нет ясности, какие из представленных в главе рисунков полностью заимствованы из литературы, а какие переработаны и дополнены информацией непосредственно диссертантом. Кроме того, оз. Хлоридное, как и два других озера, исследуемых автором, имеет сток, который находится в южной части озера, а на рис. 2.16 и других рисунках по тексту это озеро изображено как бессточное. В главе приводится описание не всех объектов, задействованных в исследовании.
- В Главе 3 нет информации о сроках проведения полевых работ, о количестве отобранных проб, о критериях, используемых при выборе мест отбора проб донных осадков и количестве выполненных профилей. В главе некорректно представлена нумерация разделов (после 3.2 идет 2.2.1 и т.д.). Согласно представленным в тексте диссертации таблицам, аналитические исследования выполнены на аппаратуре с очень низким порогом определения, на уровне ppt (нанограммов/л) для воды и ppb (микрограммов/кг) для пород. В главе нет информации, каким образом лаборатории, где делались эти анализы, добились такой чувствительности методов.
- В Главе 4 слишком большое внимание уделяется описаниям и деталям статистических методов, которые представляют собой известный и широко применяемый многими инструмент, предмет изложения в соответствующих учебных пособиях. То же относится к слишком подробному описанию Фурье-вейвлет преобразованию. Вместе с тем, нет детализации применения метода ^{210}Pb датирования с соответствующим литературным обзором.

- Первый раздел Главы 5 (а также первое защищаемое положение) связан с термальными водами, тогда как в названии диссертации звучат только отложения.
- В Заключение отсутствует одно из самых главных достижение работы – датировка и скорости осадконакопления.
- К замечаниям общего плана следует отнести встречающиеся в тексте описки, пунктуационные неточности, в некоторых таблицах отсутствует размерность, не на всех карта-схемах есть масштаб. Некоторые схемы слепые, без привязки к местности. В тексте встречаются не корректные ссылки на литературные источники.

Несмотря на высказанные замечания, общая оценка диссертации И.С. Кириченко положительная. Защищаемые положения в достаточной мере обоснованы фактическим материалом. Содержание диссертации опубликовано в 8 статьях в рецензируемых изданиях из списка ВАК, в трех статьях диссертант является первым автором. Часть статей посвящена непосредственно объекту исследований (кальдере Узон), в некоторых работах апробирована методика исследований. Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации. Материалы, положенные в основу диссертационной работы, прошли апробацию в виде докладов на российских и международных конференциях.

По объему работы, актуальности, новизне и значимости результатов диссертационная работа соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор **Иван Сергеевич Кириченко** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Зам. директора по научной работе
ИВиС ДВО РАН
кандидат геол.-мин. наук
19.04.2024 г.

Калачева Е.Г.

Подпись Калачевой Е.Г. заверяю

зав. отделом кадров ИВиС ДВО РАН
г. Петропавловск-Камчатский
Бульвар Б.И. Пийпа, 9



Малышева Е.В.