

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Институт  
геохимии им. А.П.Виноградова  
Сибирского отделения Российской  
академии наук, д.г.-м.н.

А.Б. Перепелов

« 26 » апреля 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Кириченко И.С. **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

Современные вулканические области всегда сопровождаются полями термальных проявлений (озер, гейзеров, грязевых и водяных котлов), имеющих разные масштабы и, главное, разный состав, температуру и периодичность проявлений. Их изучение важно и с геохимических позиций, так как дает представление о составе геотермальных растворов данной площади, а также имеет возможный интерес с позиций полезных ископаемых и лечебных свойств самих вод. В конечном итоге по ним можно предсказать времена оживления вулканической деятельности в районе. Поэтому **актуальность** представленной работы несомненна. Сложность работы также очевидна, так как эти образования находятся на границе с поверхностью и приходится выяснять не только степень связи растворов с полем деятельности того или другого вулканического центра и глубины их поступления, но и роль поверхностных вод и живых организмов, принимающих активное участие в минералообразовании, а также в преобразованиях слагающих дно озер и котлов отложений.

В этом плане выбранная крупная кальдера Узон Камчатки представляет богатый материал, достаточно широко представленный в данной работе от производных наиболее глубоких флюидов (оз. Фумарольное), до все более разбавленных поверхностными водами озер и котлов. В основу работы положен материал, собранный автором в период с 2009 по 2013 год в составе отряда ИГМ СО РАН. Это три керна донных отложений озер Фумарольное, Хлоридное и котла Сизый, а также 11 проб термальных вод. Во введении подробно описаны методы определения таких быстро меняющихся параметров, как pH, Eh, концентрация в воде  $O_2$  и  $HS^-$  на месте отбора проб.

В первой главе изложена продолжительная история изучения кальдеры начиная с 1969 года (работы С.И.Набоко и С.Ф.Главатских) и по настоящее время. Материал достаточно обширный, анализ которого помог автору в выборе наиболее характерных и разнообразных объектов кальдеры вулкана Узон. Далее при описании каждого объекта автор широко использует материалы предыдущих исследований.

Описание физико-географического положения объекта, тектонические, геологические характеристики и полученные предшественниками данные о составе растворов даны во второй главе. Приведена структура конвективных ячеек,



предполагаемый генезис гидротермальных растворов и обоснован выбор главных объектов подробного изучения.

**Научная новизна** данной работы заключается в скрупулезном опробовании трех 40-см по длине кернов отложений термальных озер с анализом химического состава донных отложений озер с разрешением 1 мм и применении самых новых статистических, физико-химических и аналитических методов их исследования. Этим новым для данной тематики методам посвящены 3 и 4 главы работы. Главное достоинство программ Фурье и вейвлет, редко применяемых в геологии, состоит в том, что можно четко выявить периодичность изменяемости концентраций измеряемых величин во времени и исключить шумовые эффекты. Автором для этих целей был написан и реализован программный код, рассчитывающий вейвлет и Фурье спектры. В работе использованы достаточно эффективные и современные методы отбора образцов и их исследования. **Достоверность результатов** обеспечивается применением независимых методов для определения одних и тех же параметров, контролем результатов путем применения комплекса методов при анализе ионного и микроэлементного состава растворов, элементного состава осадков (верификация данных РФА-СИ с помощью ААС). При диагностике дисперсных минералов осадков пробы детально изучались методами рентгенофазового анализа и СЭМ. Следует особо выделить использование метода РФА-СИ, все еще уникального в нашей стране из-за дефицита источников СИ, но весьма уместного в данной работе ввиду возможности тонкой послойной химической «разборки» керна. Особо отметим **личное участие** автора в ряде аналитических работ.

В качестве реальных физических временных рядов автором были выбраны ряды изменения температуры воздуха с 2007 по 2020 год, а также данные Бельгийской обсерватории по изменению солнечных пятен в период с 1818 по 2016 годы. Эти материалы помогли выявить геохимические индикаторы изменения гидротермальной активности изучаемого региона во времени и провести сопоставление вариаций этих индикаторов с изменением вулканической активности на территории Камчатки за последние 2000 лет.

**Результаты геохимических, статистических и изотопных исследований изложены в 5 главе работы.** В этой главе подробно представлены исследования изменения состава термальных вод каждого озера и минерального состава его донных отложений. С применением статистических методов главных компонент и кластерного анализа химического и минерального состава разрезов кернов донных отложений оз. Фумарольного, Хлоридного и котла Сизый удалось установить основные источники поступления в них различных элементов как по глубине, так и изменение состава флюидов в осенний и весенний периоды времени. Более того, выявилось синхронное изменение концентраций группы щелочных элементов, характерное для оз. Фумарольное и близлежащих источников  $Li:Rb:Cs = 100:10:7$ , которое характерно для наиболее глубокой группы высокотемпературных хлоридно-натриевых растворов с наиболее высокой минерализацией. Циклы изменения содержания этой группы элементов имеют периоды от 10-50 до 450 лет, которые по данным других исследователей соответствуют этапу мощного эндогенного регионального катастрофизма, происходившего в начале нашей эры с частыми извержениями, землетрясениями и цунами.

Донные отложения изученных озер сильно отличаются друг от друга и по минеральному, и по химическому составу. В минеральном составе донных отложений изученных гидротермальных объектов автору удалось выявить минералы аутигенной и терригенной природы в прослоях пирокластического происхождения и биогенной природы в условиях развития водорослей и деятельности бактерий. Так в Хлоридном озере главным образующимся минералом является самородная сера, а в котле Сизом – колломорфный пирит.

Закономерности распределения различных групп химических элементов в разных озерах и по глубине были установлены методом неразрушающего сканирования РФА-СИ,



вплоть до выявления форм нахождения таких элементов, как K, Rb, Cs, As, Sb и других. Повышенные концентрации мышьяка и сурьмы особенно характерны для озера Фумарольное, что естественно, сопровождается развитием реальгара, аурипигмента и антимонита.

Были установлены изотопные отношения C, O, S в озерах разной глубины и кислотности. Различия обусловлены соотношением сульфатной и сульфидной серы и деятельностью бактерий. Так изотопный состав  $\delta^{13}\text{C}$ -  $\delta^{18}\text{O}$  в валовых пробах изученных озер изменяется в широких пределах, образуя отдельные поля значений с наиболее сильной корреляционной зависимостью в озере Фумарольное.

Для определения скорости осадконакопления в ИГМ СО РАН было выполнено датирование донных отложений по  $^{210}\text{Pb}$  (по модели постоянного потока  $^{210}\text{Pb}$ ), аналитики Мельгунов М.С. и Кириченко И.С.

На основании обширного и очень детального материала по геохимическому и изотопному составу вод и донных отложений трех изученных в кальдере Узон Камчатки озер (Фумарольное, Хлоридное и котел Сизый) были выявлены интересные закономерности: изменения 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. Эти данные лежат в основе защищаемых положений и служат достаточными доказательствами для главных выводов автора.

Основные замечания к работе сводятся к следующему.

1. В главе 4 диссертант показал свое владение математическими методами анализа сложных сигналов. Однако эта глава выглядит инородной в работе. Все-таки это диссертация, которую должны оценивать специалисты определенного профиля. Достаточно было описать основные принципы и объяснить, зачем это нужно в решении конкретных проблем диссертации. Тем более, как оказалось, анализ выявил наличие периодических частот в единственном случае щелочных элементов оз. Фумарольное.

2. Заглавие гл.5 «Результаты», не соответствует ее содержанию, поскольку это не только результаты, но и их анализ и обсуждение. Отсутствие специальной главы с обсуждением результатов потребовало введения необычной формы «Резюме к параграфу...» - прием оригинальный, но вряд ли способный заменить полноценное обсуждение.

3. Если не применять ограничения со стороны термодинамики, вводимые при физико-химическом моделировании, то результаты в таких сложных мультисистемах могут трактоваться многозначно. Так, например, для РЗЭ (с.93-95) предлагается 3 возможных причины преобладания HREE над LREE, к которым нетрудно добавить, как минимум столько же. Eu максимум может быть следствием относительно большей устойчивости его гидроксихлоридных комплексов при охлаждении раствора по сравнению с другими РЗЭ (Смагунов и др. – Геохимия, 2023, 68, №9, с.938-946).

4. Основания для вывода об элементах (K, Rb, Cs) «идеальных для обнаружения потенциальных циклических изменений в их концентрациях» не выглядят убедительными, т.к. их формы нахождения в осадках не установлены. Если это действительно, как считает автор, сорбционные формы на глинистых частицах, то коэффициент обогащения для них может сильно варьировать в зависимости от различных факторов, не имеющих отношения к магматогенному флюиду, в частности, размера (поверхности) этих частиц, заряда на них и т.д.

К работе есть также ряд замечаний по тексту, касающихся незавершенности некоторых предложений и ряда грамматических ошибок. Кроме того, Рис. 5.75 на с. 174 практически идентичен рис. 5.49 на с. 134. Сделанные замечания имеют дискуссионный либо технический характер и не влияют на высокую оценку работы в целом.

Представленная работа является законченным исследованием с выполненными, в основном, поставленными задачами: детальные определения состава термальных вод и их изменения во времени, разнообразие источников термальных флюидов по глубине,



составу микро- и макроэлементов и степень периодических изменений наиболее глубинных из них, состав минералов аутигенных и биогенных. **Практическая значимость** полученных закономерностей состоит в том, что они могут помочь в разработке прогноза новых катастрофических проявлений в регионе, и будут полезны в оценке гидротермальных месторождений по составам ведущих групп микроэлементов.

**Основные защищаемые положения** работы обоснованы достаточно большим объемом фактического материала, превосходно обработанного современными статистическими методами. Результаты работы докладывались на многочисленных российских и зарубежных научных конференциях и совещаниях. Они опубликованы в 8 статьях в рецензируемых журналах, в том числе высоко рейтинговых.

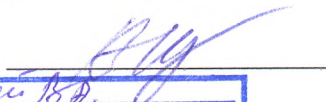
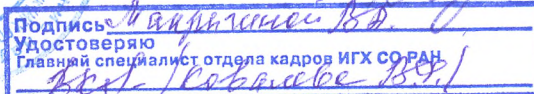
**Автореферат** информативен, его содержание соответствует в целом основным положениям диссертационной работы, хотя по построению он достаточно резко отличается от самой диссертации. К сожалению, в нем опущены сделанные автором доклады на различных научных конференциях и симпозиумах, список которых имеется в диссертации.

В целом, диссертация С.И.Кириченко выполнена на высоком профессиональном уровне, является законченным научно-квалификационным исследованием и отвечает критериям, установленным в пп. 9-11, 13 и 14 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «Положение о присуждении ученых степеней» для ученой степени кандидата наук. Содержание работы отвечает по своему существу специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», а ее автор, Кириченко И.С., заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Макрыгина Валентина Алексеевна  
Докт. геол.-мин. наук, главный научный сотрудник  
Лаборатории гранитоидного магматизма и метаморфизма  
Института геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН)  
Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а  
[vmakr@igc.irk.ru](mailto:vmakr@igc.irk.ru), т. 8 908 666 15 37

Я, Макрыгина Валентина Алексеевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

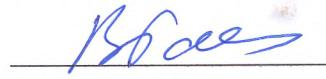
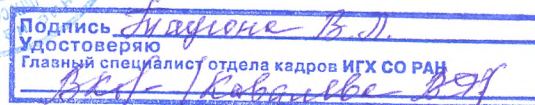
«26» апреля 2024 г.

Подпись   
Удостоверяю  
Главный специалист отдела кадров ИГХ СО РАН  


Таусон Владимир Львович  
Докт. хим. наук, главный научный сотрудник  
Лаборатории моделирования геохимических процессов  
Института геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН)  
Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а  
[vltauson@igc.irk.ru](mailto:vltauson@igc.irk.ru), т. 8 964 115 42 43

Я, Таусон Владимир Львович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«26» апреля 2024 г.

Подпись   
Удостоверяю  
Главный специалист отдела кадров ИГХ СО РАН  


Подписи д.г.-м.н. Макрыгиной Валентины Алексеевны и д.х.н. Таусона Владимира Львовича заверяю

Отзыв на диссертацию Кириченко Ивана Сергеевича рассмотрен и одобрен в качестве официального отзыва на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геохимии им. А.П.Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН) (протокол №5 от 26 апреля 2024 г.).

Председатель Ученого совета ИГХ СО РАН,  
д.г.-м.н.

А.Б.Перепелов

Ученый секретарь ИГХ СО РАН,  
к.х.н.

И.Ю. Пархоменко