

ОТЗЫВ

**официального оппонента кандидата геолого-минералогических наук
Мелекесцевой Ирины Юрьевны на диссертацию Петрова Владимира Антоновича
на тему «Гидрогеохимия метана и рудообразующих металлов в гидротермальных
ореолах рассеяния (на примере рудных полей Российского разведочного района
Срединно-Атлантического хребта)», представленную на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия,
кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых**

Диссертационная работа В.А. Петрова посвящена изучению гидрогеохимии метана и рудообразующих металлов в гидротермальных ореолах рассеяния некоторых рудных полей Российского разведочного района (РРР) Срединно-Атлантического хребта (САХ). Текст диссертации состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 288 наименований, и одного приложения (акт о внедрении). Диссертация изложена на 157 страницах, содержит 72 рисунка и 10 таблиц. Автореферат, в целом, соответствует содержанию диссертации.

Актуальность темы диссертации обусловлена недостаточной изученностью гидротермальных ореолов рассеяния (плюмов, дымов черных курильщиков) на гидротермальных полях РРР САХ, которые характеризуются высокими концентрациями ряда металлов (Cu, Zn, Mn, Fe и др.) и газов (CH₄, H₂ и др.) и являются главными индикаторами гидротермальной активности.

Научная новизна диссертации. В результате работ автором 1) установлены интервал распространения метана в придонной водной толще и закономерности распределения метана в гидротермальных ореолах рассеяния для некоторых гидротермальных полей РРР САХ; 2) выявлены закономерности распределения металлов (Cu, Zn, Fe, Mn) в пределах рудного поля Ашадзе-2; 3) предположено формирование вихревой структуры ореола рассеяния вокруг активного гидротермального источника Ашадзе-2 и выявлены факторы, оказывающие влияние на ее формирование.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Выдвинутые к защите положения, выводы и рекомендации основаны на фактическом материале, полученном в результате вертикального зондирования и опробования водной толщи с отбором проб воды сотрудниками ПМГРЭ в ходе нескольких рейсов научно-исследовательского судна (НИС) «Профессор Логачев». Они подкреплены использованием автором диссертации программы Statistica и анализом

ОТЗЫВ

ВХ.№9- 321 от 19.09.23
АУ УС

научной литературы по данной тематике. Степень достоверности результатов исследования обусловлена точностью позиционирования в процессе опробования, представительностью проб воды, корректной статистической обработкой результатов измерений, регулярной поверкой измерительной аппаратуры и использованием аналитических данных, полученных в аккредитованных лабораториях ФГБУ «ВНИИОкеангеология».

Научные результаты и их ценность. Основные положения и результаты работы докладывались автором диссертации на семинарах, школах и конференциях и освещены в 12 печатных работах, в том числе в двух статьях, опубликованных в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), и в трех статьях, опубликованных в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus. Стоит отметить, что, несмотря на вхождение журнала «Астраханский вестник экологического образования» в перечень ВАК, вызывает недоумение публикация результатов исследований в столь непрофильном журнале, в рубриках ГРНТИ которого отмечены только «Биология», «География» и «Охрана окружающей среды. Экология человека», а специальность ВАК – «010600. Науки о Земле и окружающей среде»; а не «1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Теоретическая и практическая значимость работы. На основании данных о распределении рудообразующих металлов (Cu, Zn, Fe, Mn) вокруг гидротермального источника Ашадзе-2 предполагается модель формирования вихревой структуры ореола рассеяния. Предложена методика прогнозирования положения гидротермальных источников на основе соотношений растворенных и взвешенных форм Zn, Cu, Fe и Mn, определяемых по результатам опробования водной толщи с учетом формирования вихревой структуры гидротермального ореола.

Замечания и вопросы по работе. Имеется ряд замечаний к некоторым формулировкам, форме представления и связи между отдельными компонентами диссертации.

1. Не до конца понятен выбор объектов исследований, четыре из которых приурочены к перидотитам и только одно поле – к базальтам. Со статистической точки зрения результаты сравнения данных не могут быть корректными. Вероятно, выбор обусловлен наличием данных по этим полям и отсутствием таковых по другим, но в этом случае требовалась корректировка целей и задач исследования.

2. Не ясно, почему именно метан выбран для изучения: он все-таки не является главным газом, особенно, на гидротермальных полях, связанных с базальтами (опять же, вероятно, потому что проводились только измерения метана?). К примеру, концентрации CO_2 или H_2 в растворах гидротермальных полей как на ультрамафитах, так и на базальтах гораздо выше, чем концентрации CH_4 (Charlou et al., 2010). Во введении автор упоминает H_2 , но в работе этот газ не рассматривается, хотя его содержания более контрастны на полях, ассоциирующихся с перидотитами и базальтами. Сам по себе факт повышенных концентраций метана на полях, ассоциирующихся с перидотитами, давно известен и не является открытием, в том числе, для поля Логачев-1, которое фигурирует среди объектов исследования (см. процитированную и другие работы).

3. Глава 1 перегружена ненужной информацией. Подглава 1.3.2 «Оценка влияния ювенильной составляющей на гидротермальные растворы» избыточна, т.к. в диссертации не обсуждается, какое отношение ювенильная составляющая имеет к форме переноса рудообразующих металлов и распределению метана в ореолах рассеяния.

«Оценка ювенильной составляющей по изотопным отношениям Pb, S, Sr и He малоинформативна, поскольку указанные элементы способны поступать в раствор как непосредственно из магматогенного флюида, так и при выщелачивании включений, захваченных при кристаллизации пород. Четко различить эти два пути поступления невозможно, поэтому они не могут служить доказательством поступления магматогенных флюидов» (стр. 19) – Магматический вклад на многих гидротермальных полях может быть не менее существенен, чем взаимодействие вода/порода и последующее минералообразование. Невозможно получить отрицательный изотопный состав серы, выщелачивая включения, захваченные при кристаллизации пород. А при отсутствии биогенного фактора, такие значения могут быть объяснены только магматическим вкладом (например, Herzig et al., 1998; Petersen et al., 2004, 2014 и мн. др.). То же самое касается и изотопии He (de Ronde et al., 2010) и других факторов, указывающих на магматический вклад.

4. Формулировка первого защищаемого положения претендует на то, что ореолы рассеяния метана на **всех** гидротермальных полях в пределах РРР САХ локализованы в придонной части водной толщи (200 м от океанического дна), а ореолы, пространственно ассоциированные с перидотитами, характеризуются более высокими концентрациями метана по сравнению с ореолами, приуроченными к базальтам. Однако в пределах РРР САХ известно 14 узлов (каждый из которых содержит несколько полей) и отдельных полей, а защищаемое положение базируется на исследовании только трех полей, ассоциирующихся с перидотитами (Коралловое, Молодежное и Логачев-1), и одном поле,

приуроченном к базальтам (Пюи-де-Фоль). Без указания конкретных содержаний фраза «более высокие концентрации метана» в защищаемом положении не убедительна и не является доказательством.

5. По мнению оппонента, защищаемые положения должны быть логически связаны друг с другом или объектами исследований, или методикой, или общей идеей. Однако в первом защищаемом положении фигурируют одни объекты и оно посвящено метану, тогда как второе защищаемое положение посвящено рудообразующим элементам в ореоле рассеяния поля Ашадзе-1, которое отсутствует как объект в первом защищаемом положении. Наблюдается ли предполагаемая вихревая структура ореоле рассеяния на поле Ашадзе-1 на других объектах – не известно. Как связаны между собой результаты изучения концентраций метана в ореоле рассеяния полей Коралловое, Молодежное и Логачев-1 и распределение рудообразующих металлов в ореоле рассеяния поля Ашадзе-1 – не понятно.

6. Образование вихревой структуры. Не отрицая существования вихрей в океанических течениях и гидротермальных плюмах, нужно отметить, что вихревая структура в доступном для читателя виде не проиллюстрирована ни на одном из рисунков, посвященных защите этого положения. Карты распределения элементов никак не соотносятся с вертикальными или горизонтальными сечениями вихрей, которые, исходя из определения, должны «вращаться вокруг воображаемой оси» и оставлять какой-то вихревой след. Вероятно, нужно было совместить какие-то карты, чтобы доказать присутствие вихревой структуры.

7. Третье защищаемое положение является практической рекомендацией, но не защищаемым положением в представленной формулировке. Пока еще не открыто ни одно поле с использованием предложенных критериев, в то же время каким-то образом открыто более 300 гидротермальных сульфидных полей в Мировом океане с использованием других признаков гидротермальной активности. Учитывая, что до сих пор гидротермальные поля находили без учета «возможных» вихревых ореолов рассеяния и суммирования данных по содержаниям Cu, Zn и Fe, возникает вопрос «так ли необходимо совершенствовать методику прогнозирования (или, может быть, поисков?) гидротермальных полей». Более того, с практической точки зрения (т.е. возможной добычи океанских сульфидов) в настоящее время гораздо более важны **неактивные** гидротермальные сульфидные поля (которые могут быть еще и погребены под осадками), над которыми нет вихревых потоков или аномальных концентраций металлов.

В тексте встречаются другие спорные или не корректные формулировки. Приведу некоторые из них.

1. Марганец – несомненно, важный компонент гидротермального плюма вокруг активных гидротермальных сульфидных полей, но он не является **рудообразующим** на сульфидных полях, т. к. он не образует рудные концентрации (как Cu, Zn и Fe).
2. стр. 22 – *«Выделяется два основных источника метана в Мировом океане: жизнедеятельность организмов и разгрузка холодных метановых сипов в зонах шельфа.»* В работе (Charlou et al., 2010) показано, что *«The serpentinization of ultramafics is a common feature occurring along the MAR and **strongly contributes to the whole budget of hydrogen and abiogenic methane on Earth**»*. Иными словами, учитывая результаты исследований автора диссертации и работы других авторов, можно утверждать, что существует три, а не два основных источника метана в Мировом океане.
3. стр. 26 – *«В ходе движения по нисходящей ветви морская вода обогащается медью в процессе растворения рассеянных в породах сульфидов и рудных минералов – магнетита (Fe_3O_4), титаномагнетита (Fe_2TiO_4), ильменита ($FeTiO_3$)»*. Сульфиды и рудные минералы – это одно и то же, но странно, что не упомянуты минералы меди, рассеянные в породе, а вся медь берется из магнетита, титаномагнетита и ильменита. При этом в первой же процитированной публикации в базальтах находится самородная медь.
4. стр. 26 – *«В зоне активного смешения гидротермального раствора с морской водой (первые метры от источника) медь быстро переходит во взвешенное состояние. Взвеси представлены частицами халькопирита, изокубанита, барита размером до 60 мкм»*. 1) Барит не является формой взвешенной меди.
5. Стр. 59, табл. 2. Что отражает и для чего нужна таблица 2? Это содержания элементов, объединенные для всех изученных полей??
6. Стр. 60, глава 4. В главе представлены многочисленные графики с корреляциями между различными измеренными компонентами и даже корреляционные матрицы, но исходных данных (содержания метана, Mg, а также случайно появившихся Cu, Zn и Fe в этой «метановой» главе) в удобном табличном виде нет.
7. Стр. 66 – В главе 4 «ГИДРОГЕОХИМИЯ МЕТАНА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ОРЕОЛАХ РАССЕЙНИЯ» для поля Пюи-де-Фоль отсутствует график содержаний метана.

8. Стр. 67 – Как «более низкие концентрации метана в растворах поля Пюи-де-Фоль по сравнению с растворами полей Коралловое и Логачев-1 способствуют быстрому окислению этого газа в непосредственной близости от источника»?
9. Стр. 82, табл. 7 – содержания элементов ни к чему не привязаны. Что обозначают разные значения содержаний одного и того же элемента? Это данные с разных глубин, станций, удаленности от источника? Как читать эту таблицу?
10. стр. 91 – «Схожий характер распределения определяется близостью кислотных свойств ионов меди и цинка». Какие кислотные свойства ионов меди и цинка имеются в виду?
11. стр. 102, «Формирования вихревого ореола». В подглаве описаны возможные причины, по которым может сформироваться вихревой ореол, но его **формирование** никак не представлено. Более того, перечисленные дискретный характер гидротермальной разгрузки, пространственно-временная изменчивость придонных течений, подповерхностная фазовая дифференциация и нестабильность гидротермального плюма, которые, по мнению автора, способствуют формированию именно вихревого плюма – это декларативные заявления, из которых абсолютно не ясно, как же они влияют на механизм образования возможной вихревой структуры.
12. стр. 103 – «Расположение активного источника в пределах поля Ашадзе-2 в глубоком кратере не позволяло приблизиться управляемому аппарату для опробования гидротермального раствора. По этой причине, в пределах поля Ашадзе-2 был отобран только один образец раствора. Образец показал высокую степень разбавления с морской водой. Основные его характеристики оказались значительно снижены: $T \sim 140\text{--}160^\circ\text{C}$ и $\text{pH} \sim 6$ » Не заниженные температуры опубликованы в работе (Charlou et al., 2010): $T 296^\circ\text{C}$ и $\text{pH} 4.1$. Можно было бы их учесть.
13. Стр. 103 – «Гидротермальные поля Логачев-1, Рейнбоу и Ашадзе-1, приуроченные к породам внутренних океанических комплексов долины САХ (габброиды и серпентинизированные перидотиты), характеризуются близким химическим составом гидротермальных растворов. Поскольку поле Ашадзе-2 также располагается в пределах внутреннего океанического комплекса, было сделано предположение, что химический состав растворов данного поля и поля Логачев-1 схожи.» Это общее утверждение, которое не корректно. Так, например, в работе (Charlou et al., 2010, таблица 1) опубликованы составы растворов, отобранных на полях Логачев-1 и 2, Ашадзе-1 и 2 и Рейнбоу. К примеру, содержание Cl (один из главных компонентов гидротермального раствора) в них составляет 614, 326 и 127

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН)

Почтовый адрес: 456317, Челябинская обл., г. Миасс, тер. Ильменского государственного заповедника

Официальный сайт в сети Интернет: <https://chelscience.ru>

e-mail: melekestseva-irina@yandex.ru

Телефон +7-3513-29-80-98

8 сентября 2023 г.