

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Сухановой Анны Алексеевны «Минералого-геохимические особенности глубоководных сульфидных руд поля Юбилейное (Российский разведочный район Срединно-Атлантического хребта), представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Диссертационная работа А.А.Сухановой посвящена изучению минерального и химического состава сульфидных руд гидротермального поля Юбилейное, расположенного в пределах САХ. Исследования были проведены в рамках контракта между Министерством природных ресурсов и Международного органа по Морскому дну с целью поиска перспективных для дальнейшего освоения рудных объектов в границах Российского разведочного района. Гидротермальные сульфидные руды могут быть первым типом глубоководных месторождений, которые будут использоваться в коммерческих целях. Необходимость проведения поисковых исследований определяет несомненную *актуальность* рецензируемой работы.

В качестве объекта для оценки ресурсного потенциала сульфидные месторождения морского дна представляют трудность для исследователя. В отличие от прочих перспективных объектов морского дна (Fe-Mn корок и конкреций), сульфидные месторождения образуются быстрее, при этом они образуют объемные структуры, которые выходят на морское дно неравномерно. Это затрудняет надежную оценку их ресурсного потенциала. На наш взгляд на данном этапе поисковых работ соискатель объективно определил цели и задачи научных исследований по определению состава гидротермальных образований и его эволюции.

Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, к каждой главе приведены выводы. Работа имеет общий объем 137 страниц, включая 56 рисунков, 14 таблиц и список литературы из 155 наименований.

В основу результатов исследований положен анализ 60 образцов сульфидных руд, отобранных с 11 станций. В работе подробно рассмотрен минеральный состав образцов каждой из станций, и в соответствии с ним они отнесены к одному из трех основных минеральных типов. Для изучения минералов, кроме оптических методов, был использован метод сканирующей электронной микроскопии (с детектором вторичных электронов и с энергодисперсионным анализатором). Минеральный состав был подтвержден элементным анализом. В морфологии минералов диссертантом был выявлен ряд специфических особенностей, что позволило определить последовательность минералообразования.

Валовый химический анализ исследованных образцов позволил провести геохимическую классификацию сульфидных руд. Остается неясным вопрос, насколько представительным можно считать исследованный материал, чтобы делать по нему заключение о составе руд всего гидротермального поля. Данные исследований минерального состава и химического состава сульфидных руд служат основой *первого* защищаемого положения, которое необходимо признать доказанным.

Второе защищаемое положение посвящено содержанию микроэлементов и следовых элементов в сульфидах. Он звучит как «зафиксированы повышенные содержания» ряда

перечисленных элементов. На взгляд рецензента второе защищаемое положение сформулировано некорректно. Если говорить о повышенных содержаниях элементов, следует указать, относительно чего рассматриваются эти содержания, что является эталоном для сравнения. Тем более, что в тексте работы часто встречаются формулировки, что «поле Юбилейное обеднено анализируемым компонентами» (см. стр. 72, 84, и вывод 4 на стр.93). С нашей точки зрения, защищаемое положение в первой своей части требует более точной формулировки.

Для выявления геохимических ассоциаций диссертантом был проведен факторный и корреляционный анализ. Определены группы микроэлементов, обогащающие отдельные геохимические типы руд и сделана попытка объяснения наблюдаемых ассоциаций. Справедливо показано, что к элементам высокотемпературной ассоциации относятся Cu, Co и Se. В качестве элементов ассоциирующих с железом выявлены никель, сурьма. В низкотемпературной ассоциации с цинком отмечены Cd, вероятно изоморфно замещающий цинк; также Ag и Pb. Диссертант справедливо отмечает, что дифференциация химического состава связана с изменением температуры рудоотложения, которая определяет растворимость сульфидов. Подробно обсуждаются механизмы обогащения сульфидных минералов золотом. Результаты этих исследований наглядно представлены в серии графиков. Сделанные выводы по второму защищаемому положению следует признать заслуживающими доверия.

Здесь хотим отметить, на наш взгляд при обсуждении механизмов накопления микроэлементов диссертант мало уделил внимания различию исследованных образцов по минеральному составу. Микроэлементы входят в состав, как сульфидной части образца, так и других фаз, которые, в свою очередь, могут быть содержать элементы, полученные из других источников – например, из осадочного материала или морской воды. Примером можно привести обсуждаемое на стр. 61 влияние Fe на распределение Co в сульфидных рудах. Железо сульфидов в условиях придонной океанской воды постепенно окисляется, и вместе с Mn образует оксигидроксиды, которые сами по себе являются эффективными сорбентами для многих элементов (в том числе Co), из океанской воды. Таким образом, небольшие примеси оксигидроксидного материала могут оказывать заметное влияние на химический состав руд, и приводить к нарушению искомых прямых зависимостей следовых элементов от содержания предполагаемого компонента (в данном случае Co и Cu).

Третье защищаемое положение посвящено изучению пространственного распределения минеральных типов руд и связанных с ними химических элементов по площади гидротермального поля, и выяснению эволюции состава сульфидных руд поля Юбилейное. На основе результатов химического анализа диссертантом были построены схематические карты распределения содержаний ряда экономически важных элементов в контуре рудного тела. Наглядно показаны центры накопления высокотемпературных и низкотемпературных отложений. Диссертантом предложена гипотеза образования сульфидных руд поля Юбилейное. В этой части вызывает сомнение предположение о распространении высокотемпературных отложений на большие расстояния, чем низкотемпературных (стр.106-108, рис.5.6). Скорее имели место процессы подповерхностного смешивания высокотемпературного флюида с морской водой. Исследуемое рудное поле по последним данным имеет значительный возраст (Cherkashov, 2017), его формирование происходило в несколько этапов. Неудивительно, что интерпретация химического состава руд оказывается

сложной. В работе отмечается, что однозначно определить место главного рудовыводящего канала представляется затруднительным или таких каналов могло быть несколько. Если рассматривать в целом, то выводы по этой части исследования носят предположительный характер.

Установление минеральной и геохимической зональности и интерпретация возможных процессов приводящих к подобной дифференциации отложений в пространстве несомненно относится к *новизне* работы. Можно заключить, что третье защищаемое положение подтверждается приведенными в диссертации материалами.

К вышесказанному необходимо сделать ряд *замечаний*.

1. В диссертации отсутствует раздел «экспериментальная часть», и методы исследований вынесены во введение. К сожалению, методическая часть описана предельно формально, приведены только инструментальные методы и отсутствует описание методов пробоподготовки, что не дает нам в полной мере сделать заключение о достоверности результатов химического анализа. В разделе заявлен анализ на 66 элементов, а в работе обсуждается едва ли половина из них. Пропущен метод определения Hg. В диссертации присутствует общее описание рудного материала, но не указано что представляли собой проанализированные образцы на валовый анализ, и по какому принципу их отбирали, нет данных минерального состава. Карта отбора станций приведена только в 5й главе, и на протяжении всей диссертации приходится только догадываться об их расположении.

2. При описании составов РЗЭ в гидротермальных флюидах корректно было бы использовать оригинальные данных натуральных измерений из следующих работ Douville et al., 1999, 2002; Bau, Dulski, 1999; Mitra et al., 1994; Schmidt et al., 2007, 2010, а не «теоретические» составы из указанного автором источника Deborah, 1998. Сходство составов РЗЭ сульфидных руд и гидротермального флюида и вмещающих пород не может ничего обуславливать, как автор пишет на стр.106. Это ошибочная формулировка. Оно лишь свидетельствует, что основной источник РЗЭ во флюиде это вмещающие породы. Вместе с тем, не следует упускать из виду, что состав РЗЭ флюида не определяется типом вмещающих пород, будь то основные или ультраосновные породы, а физико-химическими свойствами флюида (Douville et al., 1999, 2002).

3. Редкоземельные элементы относятся к литофильным элементам и не накапливаются в сульфидах, и при содержаниях 1-2 г/т они не могут образовать собственных минеральных фаз в сульфидных рудах (церианита и «сферических соединений»), как автор ошибочно утверждает на стр.105.

3. Рисунок 4.14 некорректен. Разница в содержаниях Ag (1-100 ppm) и Au (0,01-1 ppm) составляет два порядка, и в координатах графика (Au+Ag) – (Zn) вклад от золота вообще не виден. Легко заметить, что рис. 4.12 и 4.14 одинаковы/совпадают;

4. В приведенных реакциях на стр.47 нет электрохимических процессов;

5. При рассмотрении зависимости содержаний Hg от содержаний Zn при непредвзятом взгляде на рис. 4.11 легко заметить, что значимой зависимости нет, и говорить про «логарифмическую» зависимость не следует. Там же в ряде графиков из серии макрокомпонент-микроэлемент на стр. 61-70 рекомендуется избегать использования логарифмических координат при вариациях содержаний в пределах менее двух порядков. В таком виде логарифмы будут скрывать менее выраженные закономерности и зависимости, но от этого не менее значимые. Относительно рассматриваемых зависимостей добавим, что

некорректно говорить об «отчетливом выделении трех областей» на рис. 4.7, 4.8. «Отскочившие» значения могут быть объяснены как аналитическими погрешностями, так и отличием минерального состава.

Несмотря на вышеперечисленные замечания, считаю, что данная работа имеет ряд несомненных достоинств. Определен минеральный и химический состав руд гидротермального поля Юбилейное; на основе этих данных определено пространственное распределение минеральных и геохимических типов руд и сделана оценка перспективности разработки руд рассматриваемого поля. Полученные результаты исследований будут способствовать повышению эффективности геолого-поисковых и геологоразведочных работ на сульфидные руды в пределах Российского разведочного района на Срединно-Атлантическом хребте. В целом, следует отметить широту охвата изучаемого вопроса, разносторонность подхода и высокий уровень геологических знаний, проявленный диссертантом. Диссертационная работа А.А. Сухановой является научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, предъявляемым для таких работ (требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России). Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Суханова Анна Алексеевна заслуживает присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент

Старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии наук, кандидат химических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Римская-Корсакова Мария Николаевна

22 ноября 2018

117997, г.Москва, Нахимовский просп., д.36

Моб. тел. +79161844503

E-mail: korsakova@ocean.ru

*Трусов Римская-Корсакова М.Н.
уважаемого:*

*Начальнику сектора кадров ИО РАН
А.В. Трусов*

