

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И.С. ГРАМБЕРГА»  
(ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГУП «ВНИИОкеангеология  
им. И.С. Грамберга»



В.Д. Каминский  
25 ноября 2015 года

**ОТЗЫВ**

ведущей организации ФГУП «Всероссийского научно-исследовательского института геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга» на диссертацию **Е.В. БЛИНОВОЙ** «Гидротермальные преобразования осадочного чехла в рифтовой впадине Гуаймас, Калифорнийский залив», представленную на соискание ученой кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.06 – Литология

Диссертационная работа Е.В. Блиновой состоит из введения, пяти разделов, содержащих 10 глав, заключения, общим объемом 221 страница, включая 66 рисунков, 16 таблиц и текстовые приложения в виде семи таблиц. Список использованной литературы содержит 86 наименований, из них 61 иностранных.

**Актуальность темы диссертации.**

Вопросам гидротермальной активности на дне Мирового океана в области срединно-океанических хребтов, а также областей задугового спрединга, посвящено много научных работ зарубежных и отечественных исследователей. Интерес к этой проблеме связан с планами освоения подводных гидротермальных месторождений сульфидов, обогащенных медью, цинком, серебром, золотом и другими ценными металлами. В 2011 г. Международным Органом по морскому дну (МОМД) была утверждена заявка России на поиски и разведку гидротермальных полиметаллических сульфидов (ГПС) в приэкваториальной части Срединно-Атлантического хребта (САХ), а в 2012 г. был подписан Контракт с МОМД на 15 лет на поиски и разведку ГПС в пределах Российского Разведочного Района. В настоящее время на этой территории ведутся геологоразведочные работы на поисковой стадии.

Интерес к подводным месторождениям сульфидов связан и с постепенным истощением континентальных месторождений.

Таким образом, работа Е.В. Блиновой чрезвычайно актуальна, посвящена

малоизученной проблеме гидротермальных преобразований отложений значительной мощности, перекрывающих активную зону срединно-океанического хребта, в условиях миграции горячих растворов сквозь нее. Исследования проводились по материалам кернов скважин глубоководного бурения 477/477А, 478, 481/481А DSDP.

**Научная новизна** работы, заключается в новых научных результатах, полученных лично автором при изучении и анализе исследуемого материала. На современном методическом и аналитическом уровне Е.В. Блиновой установлены основные закономерности преобразования вещественного состава осадочного покрова при взаимодействии осадков с гидротермальным раствором в осевой зоне приконтинентального участка океанского рифта. Уточнены и расширены представления о химическом составе фоновых и гидротермально измененных осадков впадины Гуаймас, получены новые данные о содержаниях основных и редкоземельных элементов. Впервые для большой группы химических элементов оценено воздействие осадочного покрова на мигрирующие сквозь него гидротермальные растворы в срединно-океанических хребтах, перекрытых осадочным чехлом значительной мощности.

Анализируя и обобщая полученные данные, используя исследования предшественников, автор предлагает дополненную своими данными модель гидротермального изменения осадков и трансформации состава горячего раствора при его прохождении сквозь осадочный покров на ранних стадиях раскрытия океанов.

**Личный вклад автора.** Е.В. Блинова детально просмотрела, описала и проанализировала осадочные разрезы скважин 477/477А, 478, 481/481А глубоководного бурения; отобрала образцы из керна для лабораторного изучения; провела сравнительный анализ и обобщение полученных результатов с опубликованными ранее в отечественных и зарубежных источниках; сделала выводы по изменению вещественного состава и влиянию осадочного покрова на трансформацию растворов мигрирующих сквозь него. Полученные данные автор обработала и графически оформила с использованием современных программных пакетов.

Результаты проведенных исследований неоднократно докладывались диссертантом на российских и международных совещаниях, конференциях, ежегодных научных конкурсных сессиях отдела литологии и сессиях научных работ молодых ученых ГИН РАН. По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 2 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

#### **Научные результаты.**

В первом разделе диссертационной работы Е.В. Блиновой на основе публикаций зарубежных и отечественных исследователей рассмотрены вопросы тектонического строения, геологии прилегающей суши, гидротермальной циркуляционной системы впадины Гуаймас.

#### **Замечания к 1-ому разделу.**

К мелким замечаниям раздела 1 можно отнести несоответствие рисунка 1.6 и условных обозначений к нему. Ссылка в тексте на рис. 1.4 ошибочна, должна быть на рис. 1.5. Логично поменять местами рис. 1.5 и 1.6, следуя изложению материала в главе 3.

**Во втором разделе** диссертант приводит описание осадочного разреза впадины Гуаймас по материалам глубоководного бурения в скв. 477/477А, 478 и 481/481А, с указанием мест отбора образцов для дальнейшего изучения. Результат исследования минерального состава осадков отражен в таблицах минеральных зон, составленных М. Кастнер, где для выделенных интервалов В колонках приведены минеральные ассоциации и степень гидротермального изменения отложений.

Заслуживает внимания карта изолиний теплового потока во впадине Гуаймас, построенная Е.В. Блиновой по опубликованным данным, наглядно показывающая приуроченность скв. 477/477А к зоне наибольшего его проявления, что объясняет значительную степень гидротермального воздействия на осадки именно в этой скважине.

#### **Замечания ко 2-му разделу.**

К сожалению, при характеристике осадочной толщи изученных скважин, диссертант

опирается только на данные М. Кастнер, не привлекает собственные петрографические исследования в шлифах. Возможно, при подключении полученных новых собственных данных и привлечении первичного набортного описания (макро и микро) осадков, сделанное достаточно тщательно с помощью сферслайдов, и представленное в т. 64 DSDP, вещественный состав отложений было бы освещен более полно, менее схематично, чем это сделано М. Кастнер. В таблицах «Минеральных зон», выделенных в скважинах М. Кастнер, в графе «минеральные ассоциации» ассоциаций как таковых не выделено, просто перечислены все встреченные в отложениях минералы. В графе «степень изменения», по всей видимости, подразумевается степень гидротермальных изменений, т.к. в неизменную зону попадают аутигенные минералы, образовавшиеся в процессе постседиментационных преобразований - пирит, клиноптилолит.

К сожалению, процессам диагенеза не уделено должного внимания, хотя, судя по петрографическому описанию, минералогии и физическим свойствам отложения претерпели существенные изменения после седиментации. Понятно, что задача диссертанта состояла в выявлении гидротермального воздействия на осадочную толщу, но дать описание процессов диагенеза было бы весьма целесообразно.

При характеристике отложений не указано, с какого горизонта начинают меняться физические свойства осадков, их уплотнение и переход в породу. Используется некорректная терминология для консолидированных разностей - в осадках под силлом уже подняты не глины, как указывает автор, а аргиллиты.

Мало внимания уделено роли турбидитов в осадконакоплении, а они играют большую роль в формировании рассматриваемой осадочной толщи. Не отмечено присутствие высокого содержания органического углерода (до 3%), запах сероводорода и его усиление вниз по разрезу в скв. 477. Эти данные указывает на восстановительную обстановку осадконакопления, определяющую процессы седиментации и в дальнейшем диагенеза.

**Первое защищаемое положение** об основной перестройке вещественного состава осадков во впадине Гуаймас под действием долгоживущей гидротермальной системы в осевой части рифтовой зоны отражено в разделе 3.

Для доказательства выдвинутого положения автор в главе 3-1 рассматривает химический состав отложений в высокотемпературных (~300°C) и относительно низкотемпературных (100-250°C) зонах скв. 477/477А. В качестве репера для сравнения степени изменения вещественного состава выбраны неизменные осадки верхней части скв. 477 и весь разрез скв. 478 и 481/481А.

В результате проведенных исследований диссертант приходит к выводу, что максимальная перестройка химического состава осадков как в целом, так и в отдельных фракциях (алевритовой и песчаной) происходит в высокотемпературных условиях в нижней части разреза, на что указывает значительное увеличение содержания Cu, Zn, Cd, а также Ag. Содержания макро-, микро- и редкоземельных элементов в гидротермально измененных отложениях не меняется по сравнению с неизменными, что указывает на их инертность и неучастие в трансформации раствора.

Выше по разрезу, в относительно низкотемпературной зоне, содержания Cu, Zn, Cd, K, Rb, Tl, As, Li, Ba, Sb в отложениях значительно ниже по сравнению с высокотемпературной зоной, а Co, Ag, Ni, Mo, Bi аналогичны установленным в высокотемпературной зоне.

Таким образом, автор доказывает, что изменение химического состава осадков из относительно низкотемпературной зоны имеет второстепенное влияние на трансформацию раствора, мигрирующего через осадочный покров, и максимальная перестройка химического состава происходит в высокотемпературной зоне, что определяет соответственно и трансформацию гидротермальных растворов.

Результаты Дополнительного изучения распределения химических элементов в гранулометрических фракциях и в тяжелой подфракции фракции 0,25-0,1 мм показали

наибольшее влияние гидротермальной системы в глинистой и крупно-песчаной фракциях.

Заслуживает особого внимания вывод автора о концентрации MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Cr, Co, Ga, Ni, Cu в нижней части разреза, отражающую перестройку терригенных глинистых минералов с образованием Mg-хлорита и триоктаэдрического Mg-сметита (сапонита). В верхней части этой зоны увеличивается содержание не только Mg, но и Fe, что связано с образованием Fe-Mg-хлоритов.

Глава 3-2 посвящена изучению минерального состава гидротермально измененных пород по сравнению с фоновыми осадками.

Диссертант привлекает современные методы исследования: сканирующий электронный микроскоп, дающий возможность изучить морфологию минералов в отложениях, а использование приставки для энергодисперсионного рентгеновского микроанализа позволяет построить карты интенсивности характеристического рентгеновского излучения для различных элементов в полированном шлифе.

Кроме описания минерального состава в шлифах, для более подробной характеристики минералов высокотемпературной зоны, Е.В. Блиновой была изучена тяжелая подфракция (фракции 0,25-0,1 мм), в которой отмечается присутствие единичных сростков самородного железа, обогащенного Zn и Cu, апатит, сфен, эпидот, пирит, пирротин, самородные металлы.

Результатом проведенной кропотливой работы стала обобщающая материал таблица «Минеральные зоны в скважине 477/477А», в которой, к сожалению, не приведены минеральные ассоциации и «минералы-индикаторы», характеризующие каждую зону.

Изучению глинистых минералов в скв.477/477А посвящена глава 3-3. Как справедливо замечает диссертант, эти минералы «являются хорошими индикаторами изменения температурных и физико-химических условий среды образования и последующего преобразования осадочного материала».

Автором проделана огромная исследовательская работа: определен качественный и количественный состав глинистых минералов, с помощью метода симулирования дифракционных картин получены количественные и структурные характеристики фаз глинистых минералов.

Для более детального изучения изменений химического состава и минералогии осадков, уточнения их связи, в высокотемпературной зоне диссертантом было проведено дополнительно детальное изучение химического состава наиболее интенсивно измененных осадков скважины 477А (глава 3-4).

Методом ICP-MS был определен химический состав отложений для 8 гранулометрических фракций. Результаты показали, что наибольшему гидротермальному воздействию подверглись глинистая и крупно-песчаная фракции.

Е.В. Блиновой установлено, что в глинистой фракции концентрируется MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Cr, Co, Ga, Ni, Cu. Значительное обогащение осадков нижней части высокотемпературной зоны Mg объясняется перестройкой терригенных глинистых минералов с образованием Mg-хлорита и триоктаэдрического Mg-сметита (сапонита), а увеличение содержания Mg и Fe в верхней части - новообразованием Fe-Mg-хлоритов.

Минералогические исследования позволили диссертанту установить кварц-альбит-эпидот-хлорит-пирит-пирротиную минеральную ассоциацию отложений, интенсивно подвергшихся гидротермальному влиянию, с локальным образованием сапонита и присутствием в них самородных металлов.

Проведенные исследования, анализ полученных результатов убедительно доказывают выдвинутое диссертантом первое защищаемое положение об основной перестройке вещественного состава осадков во впадине в условиях долгоживущей гидротермальной системы, сформированной в осевой части рифтовой зоны. **Замечания** к 1-му защищаемому положению.

Нельзя согласиться с определением «неизменности» осадков в верхней части разрезов скважин 377, 378, 381/381А, т.к. присутствуют факты, подтверждающие

протекание постседиментационных процессов в отложениях (растворение раковин диатомовых водорослей и переход органогенного кремния - опала А в опал СТ, а затем в кварц, который образует регенерационный кварцевый цемент в песчаниках и алевролитах появление пирита и клиноптилолита и др.). Поэтому утверждать, что изменение вещественного состава пород проходило только под воздействием гидротермального процесса некорректно.

В тексте и в приложении (таблица П4) кварц, опал, кальцит, гипс, полевой шпат, цеолиты отнесены к тяжелой фракции, тогда как эти минералы встречаются только в легкой фракции. В рудную составляющую тяжелой фракции попал также битум с примесью рудных элементов, который никогда не относился к минералам. Кальцит никак не может попасть в группу сульфатов, т.к. это карбонат.

На рис. 3.26 «Минеральные зоны В скважине 477, 477А» желательнее было указать не только выделенные зоны, но и привести характеризующие их минеральные ассоциации.

Логичнее было поместить раздел 3-4 после раздела 3-1, тем самым объединив рассмотрение химического состава отложений.

**Раздел 4 посвящен второму защищаемому положению** о роли силлов в изменении вещественного состава осадков.

Результаты исследования химического и минерального состава отложений, проведенного Е.В. Блиновой в скв. 477, убедительно показывают, что силлы сильно воздействуют на преобразование осадков, расположенных над ними, что выражается в растворении раковин кремнистой органики, доломитизации и окварцевании осадков, хлоритизации терригенного биотита, альбитизации плагиоклаза, формировании сапонита и смешанослойного хлорит-сметита. В измененных осадках над силами увеличивается концентрация Mg, Sc, Cr, V, Co, Ni, Mo и уменьшается содержание K, Li, As, Rb, Cs, Tl, Sb, Zn, Cd, Ag, Ba.

По мнению диссертанта, осадки, находящиеся под подошвой силлов, заметного изменения химического состава на себе не испытывают.

Исследование 8-ми метровой толщи осадков над кровлей силла показывают изменения в составе терригенных глинистых минералов - исчезает терригенный смешанослойный иллит-сметит, появился новообразованный сметит с примесью хлорит-сметита и хорошо окристаллизованный сапонит. Возможно, что терригенный смешанослойный иллит-сметит трансформировался в сапонит. Дополнительный Mg для формирования сапонита поступал, по мнению автора, из нагретых силлом поровых вод. Но не все терригенные глинистые минералы испытали изменения, сохранились терригенный диоктаэдрический монтмориллонит и примесь иллита, что показывает не достаточно сильное воздействие силлов на осадки для полной перестройки всех глинистых минералов.

Под подошвой силла, даже в непосредственной близости от нее, терригенные глинистые минералы сохраняют свой первичный облик.

**В разделе 5 автор доказывает третье защищаемое положение** о существенной трансформации осадочных отложений при миграции гидротермальных рудообразующих растворов сквозь осадочный покров в процессе взаимодействия раствор-осадки.

В отличие от хорошо изученного процесса взаимодействия вода-порода с перераспределением химических элементов между гидротермальным раствором и вмещающими магматическими породами, процесс трансформации состава раствора, при его миграции сквозь отложения значительной мощности, изучен слабо. Этот пробел удалось заполнить исследованиями Е.В. Блиновой, которая привлекла как собственные данные по химическому составу отложений, изложенные в предыдущих главах, так и опубликованные по составу гидротерм на 21 °С.ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия (Von Damm et al., 1985, Гурвич, 1988; Богданов и др., 2006 и др.), выбранные в качестве реперных.

Диссертант, вслед за предшественниками, принимает положение об увеличении или уменьшении содержания элементов в изливающемся на дне растворе после его

прохождения сквозь осадки, которое, соответственно, отражается в уменьшении или увеличении их в гидротермально измененных осадках. При этом предполагается допущение, что состав гидротермальных растворов, поступающих в осадочный чехол во впадине Гуаймас из базальтового фундамента, аналогичен составу растворов, разгружающихся на 21°с.ш. ВТП.

Используя данные Е.Г. Гурвича (1998), автор построила элементограмму средних составов растворов гидротермальных источников во впадине Гуаймас, нормированных по среднему составу гидротерм в районе 21°с.ш. ВТП, и элементограмму средних составов гидротермально измененных осадков, полученных диссертантом, во впадине Гуаймас, нормированных по среднему составу неизмененных осадков. При анализе полученного материала выявлено обеднение растворов Cu, Zn, Cd при их миграции через осадочный покров и их обогащение K, As и Rb, что коррелируется с противоположными изменениями этих элементов в гидротермально измененных отложениях.

Автору удалось поэлементно оценить отличие химического состава растворов, поступающих в осадочный чехол из базальтового фундамента в южном трого впадины Гуаймас и растворов, разгружающихся на 21°с.ш. ВТП непосредственно из базальтов. Растворы, поступающие в осадочный покров, по сравнению с растворами на 21°с.ш. ВТП, обеднены K, As, Rb, Ba, Li, Mn, Co, Br, PЗЭ, Si, Pb и обогащены Ag, Ca, Be, Sr. Объяснение этого факта диссертант видит в различии состава пород, с которыми взаимодействует океанская вода В реакционной зоне, и глубине залегания магматической камеры, на границе с которой происходит наиболее интенсивное превращение океанской воды В гидротермальный раствор.

Таким образом, Е.В. Блинова получила новые данные, позволившие доказать, что в процессе взаимодействия раствор-осадок, осадочный покров влияет в разной степени для разных элементов на трансформацию состава горячих растворов, мигрирующих сквозь отложения в южном трого впадины Гуаймас.

В относительно высокотемпературной зоне осадков интенсивность изменения содержания Cu, Zn, Cd, K, As, Rb, Sb, Tl намного меньше, чем в осадках из высокотемпературной зоны. Влияние осадочного покрова на трансформацию состава растворов уменьшается вплоть до его полного прекращения в условиях снижения температуры.

Сильное обеднение растворов Fe, Mn, Co, PЗЭ, прошедших сквозь осадочный покров и разгружающихся на дне южного трого впадины Гуаймас, диссертант объясняет сильно пониженным их содержанием в «первичных» растворах из базальтового фундамента в осадочный покров, по сравнению с растворами, разгружающимися из базальтов в океан на 21° с.ш. ВТП.

Слабое увеличение содержания Mg В гидротермально измененных осадках показывает, что раствор, приходящий в осадочный покров из базальтового фундамента, содержит небольшое количество Mg, т.к. при миграции через осадочный чехол он расходуется на формирование Mg-хлорита.

Содержания породообразующих элементов в осадках из относительно низкотемпературной зоны практически не изменяются по сравнению с их содержанием в исходных осадках, т.е. они не участвуют в трансформации состава растворов в отношении этих элементов.

По результатам, полученным Е.В. Блиновой, была создана модель гидротермальной системы во впадине Гуаймас Калифорнийского залива (с привлечением данных Е.Г. Гурвич, 1998 и Д.В. Гричук, 1996), демонстрирующая трансформацию состава гидротермальных рудообразующих растворов при их миграции сквозь осадочный покров и разгружающихся на дне в виде «черных курильщиков».

**Практическая значимость работы** неоспорима и чрезвычайно ценна при исследовании гидротермальных процессов В осадочном чехле аналогичных объектов в других районах Мирового океана, в частности в Российском Разведочном Районе в САХ.

Кроме того, подводные гидротермы считаются аналогами древних рудообразующих систем колчеданных месторождений на континентах, поэтому результаты проведенных исследований могут быть использованы при интерпретации генезиса древних сульфидных месторождений, известных на континентах и для прогнозирования новых колчеданных месторождений как на суше, так и в океане.

#### **Замечания и пожелания по работе.**

В формировании отложений во впадине Гуаймас участвовало несколько процессов – седиментационный, постседиментационный и, наложенный на них, гидротермальный. Достаточно сложно провести границу между постседиментационным преобразованием вещественного состава отложений и гидротермальным. Возможно, это можно было бы сделать при более детальном рассмотрении так называемых «неизменных» пород скв. 377, 378 и 381/381А, чтобы разделить их.

Представляется целесообразным для более полной характеристики процессов изменения вещественного состава отложений привести данные о трансформации органического вещества по разрезу (по материалам, опубликованным в 64 томе DSDP).

Применение статистического метода обработки результатов химического анализа, вероятно, более наглядно показало бы корреляционные взаимоотношения между элементами, а факторный анализ позволил бы более полно выявить причинно-следственные взаимосвязи различных групп элементов, глубже понять сущность геологических процессов и генетические особенности в изученных отложениях.

**Закключение.** Таким образом, рассмотренная работа представляет ценность для фундаментальной науки и имеет высокое практическое значение при разработке стратегии поиска новых рудных объектов, как в океане, так и на континентах. Не вызывает сомнения достоверность и новизна диссертационного материала, значительная часть которого опубликована в рецензируемых научных журналах.

Автореферат Е.В. Блиновой полностью соответствует диссертационной работе.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации Е.В. Блиновой.

Представленная работа отвечает требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.06 – литология, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Отзыв на диссертацию обсужден на заседании секции «Геология твердых полезных ископаемых и экологии» Ученого Совета ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга» 26 ноября (протокол № 13) и утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации.

Зам.директора ФГУП «ВНИИОкеангеология  
им. И.С. Грамберга», д. г.-м. н., проф.

Георгий Александрович Черкашев

Ст. н. с отдела геологии минеральных  
ресурсов океана ФГУП «ВНИИОкеангеология  
им. И.С. Грамберга», к.г.-м.н.

Евгения Александровна Попова

