

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗЛИЧИЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ФАУНЫ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Ю.А. Богданов

Энергетической основой гидротермальных экосистем является хемосинтез, определяемый потоками гидротермального вещества из океанических недр, их составом и свойствами. Поэтому при исследовании неоднородностей распределения и состава гидротермальной фауны, определении контролирующих их факторов необходимо в значительной степени учитывать геологические предпосылки. Область развития гидротермальных сообществ – зона смешения гидротермального раствора с придонной океанической водой. От того, каковы характеристики достигающего этой зоны гидротермального раствора, зависят и интенсивность продуцирования биоты, и ее состав. Несомненно, специфика заселения активных гидротермальных полей гидротермальной фауной зависит от строения гидротермальных полей, частоты их встречаемости, изменения характера их функционирования во времени.

В настоящее время достаточно удовлетворительно изучена геология гидротермальных полей океана, определены причины неодинаковости их распределения и состава гидротермальных растворов и отложений. Это позволяет изложить предварительные взгляды геолога на данную проблему. Представляется важным ответить на следующие вопросы:

- каковы причины неоднородности состава первичного гидротермального раствора, формирующегося в недрах океанической литосферы;
- какие трансформации испытывает первичный гидротермальный раствор при подъеме к поверхности дна;
- какова специфика фиксации гидротермального вещества на поверхности дна – формирования субстрата, на котором обитают донные организмы.

Неоднородность состава и свойств выходящих на поверхность дна гидротермальных растворов может формироваться, во-первых, в зависимости от разных условий образования в недрах океанической коры первичных гидротермальных растворов, во-вторых, при неодинаковости условий их миграции к поверхности, а соответственно, – трансформации при подъеме.

1.1. НЕОДНОРОДНОСТИ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПЕРВИЧНОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО РАСТВОРА

Одним из крупнейших открытий в исследовании гидротермальных систем является твердо установленный факт: формирование гидротермальных рудоносных растворов связано прежде всего с трансформацией океанической воды при высокотемпературном взаимодействии с породами коры и

верхней мантии. Участие магматических флюидов в формировании гидротермальных растворов ничтожно мало. О глубинном источнике «гидротермальных» химических элементов в растворе можно говорить только в том смысле, что они извлекаются океанической водой из пород, которые являются продуктами глубинных оболочек Земли. Однако не следует исключать, что некоторые химические компоненты могут дополнительно поставляться в гидротермальные растворы эндогенными водами.

Состав и свойства первичного гидротермального раствора зависят от температуры и давления (РТ-условий), при которых происходит взаимодействие океанической воды с породами, от соотношения вода/порода при взаимодействии и, что наиболее важно, от состава взаимодействующих пород.

Следует отметить, что в океане указанные выше причины неоднородности состава и свойств гидротермальных растворов имеют определенные ограничения, связанные с особенностями формирования гидротермальных циркуляционных систем.

Океанические воды по системе многочисленных трещин проникают в океаническую кору и нагреваются. Несомненно, при любом повышении температуры возможно формирование локальных конвективных струй. Однако это не может создать мощную циркуляционную гидротермальную систему, устойчивую на протяжении значительного времени. Надо полагать, что это возможно в условиях, когда трансформирующаяся океаническая вода нагревается до близкритических температур, что приводит к резкому увеличению ее удельного объема. Вода приобретает высокую положительную «плавуемость» и устремляется к поверхности дна. Ей на смену поставляются новые порции воды. Иными словами, основным движителем гидротермальной циркуляционной системы является ее нагрев до близкритических температур. Если на поверхности дна встречен долго функционирующий средне- или низкотемпературный источник, температура первичного гидротермального раствора должна быть тем не менее высокой и близкой к критической. Изменение состава и свойств первичного гидротермального раствора происходит при его миграции к поверхности дна.

Образование гидротермальных циркуляционных систем может происходить только при существовании в недрах устойчивого локального нагревателя. В океанических рифтах такими нагревателями являются внутрикоровые магматические камеры или зона серпентинизации, в которой реакции протекают с выделением тепла.

По этой причине в пределах Срединно-Атлантического хребта, типичного представителя низкосрединного хребта, обнаружены два типа гидротермальных проявлений.

Первый наиболее детально исследованный тип приурочен к внутреннему рифту, к его неовулканической зоне и сводам, фиксирующим положение активных внутрикоровых магматических камер. На Срединно-Атлантическом хребте магматические камеры имеют дискретный характер и небольшие размеры. Геофизическими методами они практически не фиксируются. Получены достаточно надежные данные по хребту Мона (северная часть Срединно-Атлантического хребта на 72° с.ш. [Geli, Renard, 1994]). По геофизическим данным, в осевой части рифта определено наличие на глубине 2–3 км тела, которое может отождествляться с магматической камерой. На гидро-

звании гидро-
ке «гидротер-
только в том
которые явля-
эт исключать,
поставляются

а зависят от
т взаимодей-
рода при вза-
ощих пород.
неоднородно-
деленные ог-
отермальных
проникают в
ышении тем-
труй. Однако
ную систему,
гать, что это
я вода нагре-
увеличению
ую «плавую-
ются новые
мальной цир-
температур.
дне- или низ-
термального
ической. Из-
ора происхо-

жет происхо-
нагревателе-
трикоровые
акции проте-
та, типично-
типа гидро-
внутреннему
ложение ак-
лантическом
и небольшие
руются. По-
я часть Сре-
По геофизи-
убине 2–3 км
й. На гидро-

термальном поле ТАГ на 26° с.ш. Срединно-Атлантического хребта исследователями микроземлетрясений показано, что поднятие, на котором покоится активная гидротермальная постройка, подстилается на глубине около 3 км от поверхности дна твердой, но еще горячей магматической интрузией [Kong et al., 1992]. Кварцевая геобатиметрия показала, что высокотемпературные растворы поля ТАГ продуцируются на глубине около 2 км [Campbell et al., 1988; Rona et al., 1996].

В данном типе гидротермальной циркуляционной системы океаническая вода взаимодействует с базальтами, долеритами дайковой серии и реже с габброидами. Трансформация океанической воды в гидротермальный высокотемпературный раствор происходит постепенно, начиная еще на нисходящих ветвях гидротермальной циркуляционной системы [Курносков, 1986]. Процессы преобразования пород коры и океанической воды начинаются в условиях холодного контакта вулканитов с океанической водой (гальмиролиза). Воды, проникающие по открытым трещинам в фундаменте, постепенно погружаясь и нагреваясь, на первом этапе вызывают изменения вулканитов, отнесенные к стадии активного окисления. В.Б. Курносков отмечает, что на этой стадии происходит гидратация пород вдоль трещин, обогащение этих зон калием и потеря ими кальция, магния и, возможно, кремния, марганца и натрия, формирование селадонита–глауконита, гидроксидов железа, филлипсита и смектита. К этой стадии относится и формирование калиевых полевых шпатов. Глубина активного окисления магматических пород может достигать 300 м. Эта стадия изменения происходит под влиянием разогретой до 50–80 °С океанической воды.

С увеличением температуры существенно возрастают метаморфические преобразования пород коры. Некоторые химические элементы и соединения (в частности, Mg и SO_4^{2-}) переходят в твердую фазу. Одновременно значительное количество химических элементов (в частности, металлов) растворяется. Процессы трансформации океанической воды в гидротермальный раствор и одновременного формирования новых минеральных фаз в океанической коре завершаются в *реакционной зоне*, расположенной непосредственно над локальным нагревателем (во многих случаях над магматической камерой).

При высокотемпературном взаимодействии с породами коры океаническая вода, представляющая собой слабощелочной окислительный натриево-магниевый-хлоридно-сульфатный раствор, трансформируется в кислый восстановительный натриево-кальциевый-хлоридный гидротермальный раствор. В нем концентрации металлов, роль которых в формировании отложений гидротермальных полей максимальна (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb), в 10^3 – 10^7 раз превышают их концентрации в океанической воде. Гидротермальный раствор содержит значительное количество сероводорода, практически отсутствующего в океанической воде. Он также существенно обогащается водородом и метаном, концентрации которых в океанической воде очень низки. Породы коры при высокотемпературном взаимодействии с водой испытывают зеленокаменное перерождение.

Состав и свойства первичного гидротермального раствора в определенной степени связаны с глубиной положения реакционной зоны, РТ-условия-

Таблица 1.1. Классификация гидротермальных полей Атлантического океана в зависимости от судьбы первичного гидротермального раствора при подъеме к поверхности дна

Типы гидротермальных полей	Гидротермальные поля, ассоциирующие с "осевыми" магматическими камерами		Гидротермальные поля, ассоциирующие с серпентинитами		
	Первичный гидротермальный раствор	Раствор, испытавший фазовую сепарацию	Первичный гидротермальный раствор	Раствор, испытавший фазовую сепарацию	Раствор, испытавший фазовую сепарацию и влияние подповерхностной биосферы
Характер трансформации первичного раствора					
Гидротермальные поля	ТАГ Снейк-Пит Брокен-Спур	Лаки-Страйк Менез-Гвен	?	Логачев Рейнбоу	Лост-Сити

ми трансформации океанической воды в гидротермальный раствор. С глубиной возрастает давление, а соответственно температура, до которой может быть нагрета вода. До настоящего времени не встречено подводных гидротермальных источников с температурами растворов, существенно превышающими 400 °С. Это свидетельствует об «открытой» системе функционирования гидротермальных циркуляционных систем. Определенные более высокие температуры в газовой-жидких включениях в минералах океанических пород могут указывать на то, что они фиксируют «закрытые» условия и соответственно не имеют отношения к устойчивым гидротермальным циркуляционным системам.

Близость составов и свойств высокотемпературных растворов первого типа [Богданов, Сагалевиц, 2002] указывает на близкие РТ-условия их формирования, как впрочем и соотношение в реакционной зоне величин вода/порода.

Второй тип гидротермальных проявлений Срединно-Атлантического хребта в настоящее время достаточно хорошо задокументирован только на полях Логачева на 14°45' с.ш. и Рейнбоу на 36°14' с.ш. Оба эти поля пространственно связаны с серпентинитовыми протрузиями. Поле Логачева приурочено к склону аномального краевого уступа рифтовой долины, поле Рейнбоу – к осевому поднятию, сложенному также серпентинитами [Богданов, 1997; Богданов и др., 1999].

Надо полагать, что состав и свойства первичного гидротермального раствора должны существенно отличаться от того, что характерно для полей первого типа. Накопленная к настоящему времени информация свидетельствует о том, что серпентиниты в океане образуются в результате взаимодействия ультраосновных пород низов океанической коры – верхов мантии с проникающей по трещинам и разломам океанической водой. Однако при развитии вулканизма в океанических рифтах и соответственно, как показывают исследования, присутствию на глубинах 1–3 км внутрикоровых магматических камер с температурой в кровле около 1200 °С, проникновение воды в нижнюю зону океанической коры и тем более в мантию невозможно [Зоненшайн и др., 1992]. Поэтому мы должны полагать, что формирование серпентинитовых массивов и связанных с ними гидротермальных рудопроявлений происходит в вулканических областях океанических рифтов.

Судить о состав
подобных этого типа к
подъеме испытыва
только предварите
рующихся с серпент
термальном раств
чем на полях «осе
тами). Эти различ
щими во взаимодей
температурного п

Резкое обогащ
Сх, Рб, У и редкоз
всего повышенно
ротермальных по

Однако хотел
ных отложениях
химических элеме
шего пентландита
пентинитами, рез
системы, в том чи
сепарации гидрот
что столь существ
бою целым рядом
тем не менее дол
раствора этого в
высокие раствора

Очень важне
ций газов, прежд
подводных источ
в значительной
участках этих ис
СН₄ (Леви и др.
востные до сих п

1.2.

СВЯЗАН
ИЗ Р

Накоплены д
для первичный
поверхности оке
твора на океани
гидротермальн
В настоящее
вызывающих п
миграция к пов

Раствор, испытывавший фазовую сепарацию и влияние подповерхностной биосферы Лост-Сити

раствор. С глубиной которой может существенно превышать функциональные более высокие океанические условия и со...

воров первого типа их формирования вода/порода. Атлантического прован только на ба эти поля про... Поле Логачевой долины, поле тинитами [Богда...

термального раствора характерно для полей ация свидетельствует о взаимодействии верхов мантии с корой. Однако при этом, как показывают экспериментальные данные, проникновение воды в мантию невозможно. Это формирование гидротермальных рудопроярков в рифтах.

Судить о составе и свойствах первичного гидротермального раствора на полях этого типа крайне сложно, ибо во всех исследованных случаях он при подъеме испытывает существенные трансформации. Поэтому возможны только предварительные заключения. На гидротермальных полях, ассоциирующих с серпентинитами (поля Рейнбоу и Логачев), содержание в гидротермальном растворе H_2S , Si, Al и Li существенно ниже, а Ca и Rb – выше, чем на полях «осевых» гидротермальных систем (ассоциирующих с базальтами). Эти различия, по-видимому, связаны с разными породами, участвующими во взаимодействии с океанической водой при формировании высокотемпературного гидротермального рудоносного раствора.

Резкое обогащение флюидов поля Рейнбоу Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Cs, Pb, Y и редкоземельными элементами, а также содержание в них существенно повышенного количества хлора по сравнению с флюидами других гидротермальных полей справедливо связывается с фазовой сепарацией.

Однако хотелось бы заметить, что, судя по содержанию в гидротермальных отложениях кобальта, никеля, золота, платины и, возможно, ряда других химических элементов, по присутствию в составе сульфидов кобальтсодержащего пентландита и миллерита, гидротермальные поля, ассоциирующие с серпентинитами, резко выделяются среди других типов полей мировой рифтовой системы, в том числе и тех, в которых также доказано существование фазовой сепарации гидротермального раствора. Иными словами, согласившись с тем, что столь существенное обогащение гидротермального раствора поля Рейнбоу целым рядом химических элементов связано с фазовой сепарацией, мы тем не менее должны полагать, что и в составе первичного гидротермального раствора этого поля присутствуют геохимические индикаторы, которые при выходе раствора на поверхность дна не «затушеваны» фазовой сепарацией.

Очень важно подчеркнуть присутствие аномально высоких концентраций газов, прежде всего водорода и метана, в гидротермальных растворах подводных источников, ассоциирующих с серпентинитами. Именно эти газы в значительной степени определяют интенсивность хемосинтеза в устьевых участках этих источников. Высокие содержания во флюидах этих полей H_2 и CH_4 [Леин и др., 2000, 2004], на 2–3 порядка величин превышающие все известные до сих пор значения, связаны с процессом серпентинизации.

1.2. НЕОДНОРОДНОСТИ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО РАСТВОРА, СВЯЗАННЫЕ С ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ПРИ ПОДЪЕМЕ ИЗ РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЫ К ПОВЕРХНОСТИ ДНА

Накоплена достаточно убедительная информация о том, что далеко не всегда первичный рудоносный гидротермальный раствор неизменным достигает поверхности океанического дна. Как состав и свойства гидротермального раствора на океаническом дне, так и состав формирующихся из этого раствора гидротермальных отложений подчинены гипсометрическому контролю.

В настоящее время установлено несколько причин (из них две главные), вызывающих преобразование первичного гидротермального раствора при миграции к поверхности океанического дна.