

2
1 змс

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

ИСАМ ЭЛЬ-ДИН МОХАМЕД ДИТХАДИ

УДК 551.464 + 551.461.7 (267.33)

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОНОСНЫХ РАССОЛОВ И ОСАДКОВ
КРАСНОГО МОРЯ

(II.00.08 - океанология)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 1987

11

Работа выполнена на кафедре океанологии географического факультета и на кафедре геохимии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Научные руководители:

доктор геолого-минералогических наук, ст.н.с. К.К.ЗЕЛЕНОВ
кандидат геолого-минералогических наук, ст.н.с. Ю.Н.ГУРСКИЙ

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, ст.н.с. В.Н.ИВАНЕНКОВ
кандидат геолого-минералогических наук, А.В.ДУБИНИН

Ведущая организация: Государственный океанографический институт ГОСКОМГИДРОМЕТА СССР.

Защита диссертации состоится "4" июня 1987 г.
в 17 час. на заседании специализированного Гидрометеорологического совета (Л-053.05.30) при Московском Государственном университете имени Ломоносова по адресу:
119899, ГСП - 1, Москва, Ленинский проспект, д. 25
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке географического факультета.
Автореферат выдан в библиотеке географического факультета.

у
ги.

Сива
ва С.Ф.

Актуальность темы. Горячие металлоносные рассолы и рудные осадки на дне Красного моря, формирующие современное гидротермально-осадочное месторождение стратиформного типа, в течение двух последних десятилетий привлекают внимание океанологов и геологов. В настоящее время известно 18 впадин с металлоносными осадками, содержащими окислы и гидроокислы железа и марганца, сульфиды железа, цинка, меди, свинца, силикаты, сульфаты и карбонаты железа и марганца. 15 из этих впадин содержат рассолы высокой минерализации с соленостью 250 и более промилле. Температура этих рассолов в наиболее горячей впадине Атлантис-II достигает 68°C. Установлено также, что за последние 10 лет температура рассолов повысилась на 12 градусов.

К середине 80-х годов изученность горячих рассолов Красного моря оказалась значительно полнее изученности его глубинных и придонных вод, поскольку гидролого-гидрохимическая структура последних рассматривалась, как правило, отдельно от осадков и рассолов впадин (априори принималось, что взаимное влияние рассолов и глубинных вод незначительно). Рассмотренный в работе единый гидролого-гидрохимический процесс взаимодействия вод, рассолов и осадков позволил выяснить их генетическую связь и уточнить механизм формирования металлоносных руд.

Цель и задачи работы

Основной целью настоящей работы было проведение комплексного изучения океанологических и геохимических условий формирования металлоносных рассолов и осадков Красного моря, выяснение особенностей их химического состава и поиск взаимосвязи между процессами, происходящими в водной толще бассейна и донных отложениях.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Исследование гидролого-гидрохимического режима толщи вод Красного моря по возможно более полному массиву первичных данных.
2. Изучение химического состава осадков и иловых вод в колонках донных отложений Красного моря по материалам, полученным в седьмом рейсе НИС "Академик Петровский".

ВНИРО
№ 1 мз
Библиотека

3. Сравнение состава иловых вод и осадков, отобранных в рифтовой зоне и вне рифтовой зоны на шельфе и континентальном склоне. Выяснение роли гидротермального фактора в формировании их химического состава.

4. Установление взаимосвязи между океанологическими и геохимическими параметрами и процессами, происходящими в воде и осадках. Выделение районов взаимодействия глубинных вод моря и горячих рассолов впадин. Оценка степени их влияния на гидрологическую и гидрохимическую структуру вод.

Научная новизна.

Впервые проведено комплексное изучение океанологических и геохимических условий формирования металлонесных рассолов и осадков Красного моря, позволяющее выяснить основные особенности гидрологической структуры и химического состава морских и иловых вод, рассолов и осадков.

Доказано активное влияние вод рассолоносных впадин на гидролого-гидрохимическую структуру слоя глубинных вод толщиной около 1,5 км от дна до нижней границы главного пика наклона на горизонтах 300-500 м.

Установлено, что гидротермальное воздействие, связанное с тектоническими и геологическими особенностями Красного моря, вызывающее аномальные изменения в химическом составе и структуре наддонных и иловых вод и осадков, имеет региональный характер и прослеживается практически на всём протяжении рифтовой зоны моря.

Фактический материал.

Для решения поставленных задач были использованы экспедиционные материалы, полученные из архивов Центра Океанологических Данных, включающие комплекс гидрологических и гидрохимических наблюдений, проведенных в Красном море с 1922 по 1981 г.г. - 1447 океанологических станций. При решении геохимических задач использовались материалы, полученные геолого-геохимическим отрядом под руководством Ю.Н. Гурского в УП рейсе НИС "Академик Петровский", который был проведен в Красном море в 1977 г. совместно географическим и геологическим факультетами.

В этом рейсе были отобраны колонки осадков длиной около 5 м во впадинах Атлантис-II, Нереус и 4 малоизученных впадинах не имеющих названий, а также на шельфе и континентальном склоне в южной части моря. Из осадков на судне была отжата и проанализирована иловая вода. Были определены макросостав иловых и придонных вод и содержания кремния и аммонийного азота. Эту работу выполнял химик-аналитик В.В. Мошков под руководством Ю.Н. Гурского. Затем в аналитической лаборатории кафедры геохимии было выполнено атомно-абсорбционное определение железа, марганца, цинка, меди, свинца, кобальта, никеля, серебра и других металлов в иловой воде. Анализ проводила канд. химических наук А.С. Знаменская при участии автора. Также автор принял участие в выполнении спектральных анализов осадков, которые проводились на кафедре геохимии геологического факультета под руководством доцента Л.А. Борисенко и в лаборатории Александровской геолого-геохимической экспедиции. Всего было изучено 94 пробы осадков на содержание 22 различных элементов и около 100 проб иловой и придонной воды на содержание 6 главных ионов и 9 микроэлементов.

Практическая значимость.

1. Высокие концентрации и закономерности распределения железа, марганца, цинка, меди, свинца, серебра и других рудных элементов, установленные в осадках и поровых рассолах рифтовой зоны Красного моря, в том числе и в неизученных ранее впадинах, создают хорошую основу и обнадеживающие перспективы их практического использования.

2. Обнаружение тесной взаимосвязи между аномальными процессами в воде и осадках Красного моря может быть использовано при поисках гидротермальных рудопроявлений в тектонически активных районах Мирового океана.

3. Воздействие металлонесных рассолов на основную толщу глубинных красноморских вод может служить основой для более точного расчёта баланса солевого состава вод Красного моря.

4. Выявленное интенсивное развитие вертикальных движений в глубинных водах представляет методологический ин-

терес при моделировании циркуляции толщи вод в районах активной гидротермальной деятельности.

Апробация работ.

Основные положения диссертации докладывались на конференции МГУ по современным проблемам Мирового океана (май 1986 г.) и на научных семинарах кафедры океанологии.

Объем работы. Диссертация состоит из пяти глав, введения, заключения и списка литературы из 108 наименований. Работа содержит 152 страниц машинописного текста 29 таблиц и 47 рисунков.

Океанологическая часть работы выполнена с активной помощью сотрудника кафедры океанологии А.Ф.Маслова, атомно-абсорбционный анализ осадков проведен на кафедре геохимии с помощью и под непосредственным руководством канд. хим. наук А.С.Знаменской, спектральный анализ — под руководством доцента Л.А.Борисенко. Автор выражает им за это глубокую благодарность.

Содержание работы.

Во введении обоснованы актуальность проведенного исследования, определены цели и задачи диссертации, показана её научная новизна и практическая ценность.

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В главе, составленной по литературным данным вплоть до 1986 г., дается общий обзор геологического строения, а также гидрологических и гидрохимических особенностей вод и осадков Красного моря. В геологическом разделе на фоне общих сведений о тектоническом строении и морфологии дна Красного моря детально рассматриваются состав осадочной толщи, результаты сейсмического зондирования, влияние вулканизма и тепловой поток. Гидрохимическое описание сосредоточено на особенностях химического состава как нормальных вод Красного моря, так и металлоносных рассолов. Приводятся характеристики водных масс и структуры рассолов, данные о их химическом и изотопном составе. Особое внимание уделено анализу представлений о эволюции и генезисе рассолов. Подробно рассмотрены материалы по составу иловых вод и

металлоносных осадков впадин Красного моря, полученные советскими, американскими и немецкими учеными.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД И ОСАДКОВ

При исследовании гидрологической и гидрохимической структуры водной толщи Красного моря применялись стандартные методы, описанные в руководствах (Метод химического анализа вод океана, 1982).

Основы методов отжатия и анализа иловых вод описаны в работах С.В.Бруевича (1949, 1978), П.А.Крыкова (1971), О.В.Шшипкиной (1956, 1972), Н.В.Татеевой и М.М. Тихомировой (1962), Ю.Н.Гурского (1969, 1981) и др.

При выделении и анализе иловых вод применялись также методы, разработанные или усовершенствованные на кафедре геохимии МГУ на основе опыта многолетних исследований.

В иловых водах и рассолах были определены ионы HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} (объемными полумикрометодами), N_{NH_4} и Si_{SiO_2} (колориметрическими методами). При выделении иловых вод применялись методы центрифугирования и отжатия гидропрессами в титановых прессформах при постепенном повышении давления до 200 кг/см². Величины pH и Eh были измерены во влажных осадках и придонной воде потенциометрическими методами.

Определения Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Ag и других металлов в придонной морской воде, иловых водах, рассолах и осадках были выполнены в аналитической лаборатории кафедры геохимии методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на приборах "С-302" и "Хитачи-207" в воздушно-ацетиленовом пламени после экстракционного выделения диэтилдитиокарбаминатных комплексов металлов в хлороформ. Процедура экстракционного концентрирования описана И.Т.Климовым и В.Я.Еременко (1959). Анализ выполнен канд.хим.наук А.С.Знаменской при участии автора.

Спектральный анализ тех же проб осадков выполнялся нами на кафедре геохимии под руководством доцента Л.А.Борисенко и в лаборатории Александровской геолого-геохимической экспедиции. При подготовке к анализу проб осадков из рас-

солоносных впадин мы предварительно отмывали их от растворимых солей и высушивали до постоянного веса.

Содержание CaCO_3 мы определяли по объему CO_2 , выделенного в кальциметре после обработки пробы осадка 2н HCl .

При теоретической обработке данных широко использовались разнообразные методы математической обработки: метод оптимальной интерполяции, корреляционный анализ и другие.

Обработка океанологической информации включала в себя сбор и критический анализ массива гидролого-гидрохимических данных (отбраковку некачественной информации), а также восстановление полей гидрологических и гидрохимических характеристик для всей акватории моря, так как данные в пространстве распределены неравномерно. Отбраковка ненадежной информации осуществлялась исходя из нижних пределов среднелиматических характеристик красноморских вод, взятых из океанологических атласов (Атлас океанов, атлас Биртки) и обобщающих работ (Моркос, 1969; Косарев, Маслов, Абдалла, 1982).

Восстановление полей проводилось методом последовательных приближений, вычислительный алгоритм и программа которого разработаны на кафедре океанологии В.С.Архипкиным. Расчетная сетка имеет шаг $0,5^\circ$ по широте и долготе, что позволяет учесть достаточно мелкие пространственные неоднородности сравнимые с размерами рассолоносных впадин.

Таким образом, в узлах регулярной сетки получены значения температуры, солёности, плотности воды от поверхности до дна моря, а также значения гидрохимических характеристик — содержания растворенного кислорода, кремневой кислоты и фосфатов. На отдельных станциях использовались определения активности ионов водорода (рН), щелочности, форм азота.

Основные черты циркуляции вод получены динамическим методом. При этом за нулевую поверхность принят рельеф дна.

ГЛАВА 3. ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД И РАССОЛОВ КРАСНОГО МОРЯ

Анализ гидролого-гидрохимической структуры вод Красного моря проводился по многолетнему массиву данных — с 1922 по 1981 годы. Всего использовано 1447 станций, из них более 500 содержит комплекс гидрохимических характеристик. Обзор океанологической изученности показал, что целесообразно анализировать первичный материал по двум основным периодам года — зимнему и летнему муссонам, — когда принципиально различны типы циркуляции деятельного слоя вод. Переходные гидрологические сезоны (весна, осень) не продолжительны по времени (1,5–2 месяца) и, кроме того, относительно слабо обеспечены исходными данными. Поэтому в настоящей работе рассматриваются гидролого-гидрохимические характеристики моря в холодный (октябрь–март) и теплый (апрель–сентябрь) периоды года. Свообразные морфометрические характеристики моря (узкий, глубокий канал, разделенный на несколько бассейнов перемычками) позволили получить карты пространственного распределения характеристик по всей акватории лишь до горизонта 1200 м при глубине в большинстве рассолоносных впадин свыше 2000 м. Структура вод моря ниже горизонта 1200 м отражена на продольном и поперечных разрезах.

С октября по март система течений Красного моря характеризуется двумя основными потоками в деятельном слое вод: с северо-запада на юго-восток в северной части моря и с юго-востока на северо-запад в южной части. В районе $19-20^\circ$ с.ш. эти потоки конвергируют. Промежуточные и глубинные воды по всей акватории движутся с СЗ на ЮВ от южной оконечности Синайского полуострова до Баб-эль-Мандебского пролива.

Взаимодействие глубинных и промежуточных вод с рассолами хорошо прослеживается начиная с горизонтов 400–500 м. Зоны повышенной температуры воды приурочены к трем основным районам рассолоносных впадин: $24-25^\circ$ с.ш. (впадина Кебрит), $19-22^\circ$ с.ш. (центральная группа впадин — Атлантик — II, Чейн, Дискавери и др.) и $17-18^\circ$ с.ш. (впадина без

названия, открытая в 1986 г.).

Наибольшее превышение над фоном в слое 500–1000 м составляет 0,1–0,2°C. В поле солености выделяются те же области повышенных значений $S\%$ (на 0,5–0,6% против фона), но, кроме того, еще район впадины Океанограф (27° с.ш.). На разрезах вертикального распределения температуры и солености вдоль продольной оси моря хорошо выражены зоны влияния горячих рассолов. Особенно это проявляется в распределении солености: над районами впадин выделяются воды с соленостью 40,8–41 ‰ от горизонта 300 м до дна.

В теплый период года граница деятельного слоя вод заглубляется до 300–400 м и влияние вод рассолоносных впадин на горизонтах 500 и 800 м менее выражено, чем зимой. На горизонте 500 м в районе 17–18° с.ш. выделяется область повышенной температуры и пониженной солености, связанной с развитием в летний гидрологический сезон мощного антициклонического круговорота и, следовательно, опускания вод в его центре. Хорошо выражена эта область и на вертикальных разрезах гидролого-гидрохимических характеристик.

Контраст температур аномальных вод в северной части моря от зимы к лету возрастает (зимой его сглаживает интенсивная вертикальная циркуляция). В южной части моря контрастность температур снижается, по-видимому, в результате вторжения аденских промежуточных вод. Соленость аномальных вод от зимы к лету возрастает более, чем на 2 промилле. Это связано как с прекращением действия зимней вертикальной циркуляции, при которой глубинные воды несколько распреснились, так и, вероятно, с осолонением при интенсивном летнем испарении.

Наиболее четко прослеживаются аномальные воды по распределению условной плотности. Слой менее плотных вод расположен от горизонта 400–500 м до дна и характеризуется несколькими минимумами. Формирование их связано, по-видимому, с подъемом вод смешения, постепенным их охлаждением и опусканием по краям "факала". Подобную картину зафиксировала экспедиция на НИС "Академик Петровский" в западной части Аденского залива в декабре 1983 г.

Распределение гидрохимических характеристик как на

картах, так и на разрезах показывает активное воздействие вод металлоносных рассолов на прилегающие глубинные красноморские воды. Это проявляется, прежде всего, в распределении кремневой кислоты. В районах впадин содержание SiO_2 более чем на порядок выше фоновых значений. Обогащены эти воды также фосфатами и обеднены кислородом. Кроме того, они выделяются повышенным содержанием металлов, особенно марганца.

ГЛАВА 4. ГЕОХИМИЯ ОСАДКОВ КРАСНОГО МОРЯ

Для изучения закономерностей формирования металлоносных осадков проведено исследование литологического и химического состава голопеновых и позднеюрских отложений из 9 представительных колонок длиной около 5 м, отобранных в УП рейсе НИС "Академик Петровский" в рифтовой зоне, а также в зонах шельфа и континентального склона в ЮВ части Красного моря. Глубина моря на станциях – от 43 до 2170 м.

Осадки на шельфе и континентальном склоне представлены песками и алевроитово-глинистыми илами с большим количеством биогенного карбонатного материала. В мелководной зоне содержание $CaCO_3$ в раковинных песках достигает 90%. На континентальном склоне карбонатность осадков меняется от 12 до 63%, достигая максимальных концентраций в карбонатных литификатах, представленных арагонитом. Последние часто встречаются также в отложениях рифтовой зоны. Происхождение карбонатных литификатов связывают с периодом хемогенного карбонатакопления в Красном море и датируют абсолютным возрастным интервалом от 4 до 12 тыс. лет (Купцов, 1986).

Наибольший интерес представляют отложения рифтовой зоны, в значительной степени представленные металлоносными илами гидротермального происхождения. Здесь наблюдается пестрое чередование осадков разных литологических и генетических типов, от терригенных глинистых, карбонатно-глинистых, или глинистокарбонатных биогенных илов, связанных с условиями нормальной седиментации в Красном море, до мощных слоев ангидрита и рудных илов, представленных окисными и сульфидными фациями с низкой карбонатностью, отра -

жающих специфику гидротермального осадконакопления в рифтовой зоне.

Фациальное расчленение металлоносных осадков Красного моря, их минералогические и химические особенности описаны в литературе ("Металлоносные осадки...", 1986). Однако изученные нами колонки из рифтовой зоны имеют ряд характерных отличий. Так, колонка, отобранная на ст.2 во впадине Кебрит лишь в верхней своей части, до глубины 87 см содержит металлоносные осадки и признаки гидротермального воздействия. Здесь же, на горизонте 52-65 см обнаружено нефтеподобное органическое вещество типа мальты (Вебер, Гурский, 1982), перекрытое карбонатными литификатами. Содержание $C_{орг.}$ в нем равно 5,9%. Рассолы и осадки до глубины 1 м в этой впадине содержат сероводород. Ниже, до глубины 3,2 м колонка представлена биогенно-терригенным глинисто-карбонатным илом.

Во впадине Атлантис-П изучены две колонки, одна из которых (ст.6) на горизонте 1,6-4,4 м содержит слой мелкокристаллического ангидрида, перекрытого аморфно-сульфидной фазией осадков и подстилаемого окисленным глинисто-железистым илом, а вторая (ст.26) представлена в основном металлоносными осадками, среди которых преобладают восстановленные разности. Карбонатность осадков в обеих колонках ниже 1%.

Другие колонки из рифтовой зоны представлены слоистыми осадками с пестрым чередованием терригенного глинистого, биогенного карбонатного и хемогенного материала гидротермального происхождения.

При исследовании химического состава осадков основное внимание было уделено поведению металлов, в особенности тех, которые связаны с влиянием гидротерм в рифтовой зоне Красного моря. Результаты анализов, полученные атомно-абсорбционным и спектральными методами, были пересчитаны на бескарбонатную, а для колонок из рассолоносных впадин и на бессолевую основу.

В результате спектрального анализа в осадках были определены: марганец, цинк, медь, свинец, никель, кобальт, хром, ванадий, молибден, серебро, олово, титан, литий, ниобий, итрий, цирконий, лантан, фосфор, галлий, бор,

стронций (всего 21 элемент). Атомно-абсорбционный анализ позволил определить 12 химических элементов: железо, марганец, цинк, медь, свинец, хром, никель, кобальт, кадмий, серебро, литий, стронций. Установлена удовлетворительная сходимость закономерностей распределения элементов, определенных в колонках двумя методами.

В табл. I приведены средние концентрации металлов в осадках по результатам атомно-абсорбционных определений. Содержание Fe дано в % на натуральный осадок; Mn, Zn, Sr, - $10^{-3}\%$, остальные элементы - $10^{-4}\%$. Глубина моря указана под номером станции.

Если во всех изученных осадках вне рифтовой зоны содержание Fe менее 4%, Mn - менее 0,35%, а другие металлы не превышают по концентрациям сотых и тысячных долей процента, то в рифтовой зоне даже в безрассольной колонке со ст.25 содержание Fe в отдельных прослоях часто превышает

Таблица I
Среднее содержание металлов в осадках Красного моря

Элемент	Шельф и континентальный склон			Впадины без рассолов			Впадины с рассолами		
	Ст.23	Ст.21	Ст.24	Ст.4	Ст.5	Ст.25	Ст.2	Ст.6	Ст.26
	43м	237м	1800м	2300м	2055м	2300м	1500м	2170м	2050м
Fe	0,3	2,4	2,3	4,3	12,2	11,7	3,3	3,9	22,9
Mn	4,8	39	139	1275	506	3900	III	175	164
Zn	7	6,3	10	41	37	179	14	84	114
Sr	360	117	172	III	44	63	84	46	19
Cu	30	38	46	70	104	26	20	640	280
Pb	не обн.	не об.	8	22	13	37	8	52	485
Cr	"	"	89	78	75	46	38	8	5
Ni	"	"	62	69	65	73	32	12	20
Co	"	"	38	50	67	33	2	9	92
Cd	"	"	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	4	42
Ag	"	17	0,4	0.1	4	"	"	14	40
Li	8	30	17	9	12	14	18	15	3

15-20%, а Мп - достигает 6-8 %. Во впадине Атлантик-II, заполненной рассолами, содержание рудного вещества (суммарное содержание Fe, Мп, Zn, Cu и других металлов), в осадках, отмытых от растворимых солей, достигает 40-48 %, т.е. около половины вещества всего осадка.

С распределением карбонатов в осадках закономерно связано поведение стронция и, отчасти, лития. Стронций обнаруживает хорошую прямую корреляцию с CaCO_3 .

О закономерностях гидротермального накопления металлов можно судить по коэффициенту концентрации, выражающему отношение элемента в осадках рифтовой зоны к среднему содержанию его в нормальных осадках. Средние и максимальные величины этого отношения представлены в табл.2. Исходные концентрации первых 8 элементов - от Fe до Li - взяты по

Таблица 2

Отношение $\text{Me}/\bar{\text{Me}}$ в осадках станций, подверженных гидротермальному воздействию

Элемент	Станция 2		Станция 6		Станция 26		Станция 25	
	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное
Fe	1,2	3,9	1,4	5,1	8,2	10,8	4,2	7,5
Mn	0,4	0,9	0,6	2,3	0,6	1,1	14,4	28,9
Zn	0,8	1,8	5	15	62	148	10	19
Cu	0,5	0,9	22	52	67	93	6	35
Pb	0,4	1,3	2,3	12	22	31	1,6	3,1
Cr	0,7	1,1	0,2	0,4	0,1	0,5	0,9	1,5
Co	-	-	1,2	3,8	7	12	2,5	3,5
Li	0,8	1,1	0,6	1,1	0,2	0,4	0,6	0,9
Mo	3	12	4	25	57	74	3,2	5,6
Ag	3	16	39	185	349	641	1,7	13
Ti	0,8	0,9	0,14	0,2	0,4	0,8	1,1	1,6
V	0,8	1,2	0,5	1,9	3,2	3,8	2,5	3,1
Ni	0,5	0,7	0,1	0,2	1,0	1,5	1,4	1,9
B	1,4	2,1	0,4	1,1	1,4	1,9	1,8	2,0
P	0,5	1,3	0,4	2,2	3,5	4,8	1,0	2,6
Sr	0,3	0,5	0,6	1,7	-	-	0,1	0,2
Zr	0,8	0,9	0,4	0,6	0,3	0,4	1,0	1,1

данным атомной абсорбции, содержание остальных элементов - по результатам спектрального анализа. Можно видеть, что наибольшее обогащение в осадках рифтовой зоны обнаруживают серебро, цинк, медь, молибден, свинец, марганец, железо, кобальт.

ГЛАВА 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА МОРСКИХ, ИЛОВЫХ ВОД И РАССОЛОВ КРАСНОГО МОРЯ

Для выявления условий и закономерностей формирования металлоносных осадков в Красном море большую роль играют сведения о химическом составе иловых вод, которые являются важным связующим звеном между донными отложениями и водой. В работе приводятся данные о химическом составе придонных и иловых вод из колонок отложений шельфа, континентального склона и рифтовой зоны Красного моря. Минимальная соленость придонных (36,4‰) и иловых (37,8‰) вод обнаружена на самой мелководной станции (ст. 23, глубина 43 м) в районе Ходейды.

В большинстве станций иловые воды по макрокомпонентам имеют нормальный океанский состав. Диагенетические процессы в них проявлены очень слабо, и в этом отношении воды из осадков Красного моря напоминают иловые воды открытого океана, с той разницей, что общая минерализация красноморских вод выше.

Особый интерес представляет поровые рассолы, полученные из осадков, отобранных во впадинах Атлантик-II и Кебрит. Осадки обеих впадин содержат в общем однотипные рассолы, с резким преобладанием хлористого натрия. Минерализация во впадине Кебрит немного ниже - 236 - 247 против 247-254‰ в Атлантик-II.

Все рассолы относятся к хлоркальциевому типу по классификации М.Г.Валаяшко (1963). У поровых рассолов очень низкая общая щелочность, содержание сульфатов ниже, чем в морской воде. В обеих впадинах рассолы содержат много кальция - до 5 г/кг. При общем сходстве проявлены и черты отличия. Содержание магния во впадине Кебрит значительно выше, чем в Атлантик-II или в морской воде и близко к содержанию кальция, а содержание сульфатов в 2 раза больше. В этой впадине наблюдаются также отрицательный градиент хлор-иона с глубиной и значительные положительные градиенты кальция и магния, что не характерно для впадины Атлантик-II.

Средний химический состав иловых вод и рассолов в колонках из рифтовой зоны представлен в табл. 3.

Таблица 3

Средние содержания элементов в морских, иловых водах и рассолах Красного моря

Элемент	Размерность	Ст.2	Ст.6	Ст.26	Ст.25	Вода Красного моря
Na ⁺ +K ⁺	г/кг	87,9	92,1	92,3	13,5	12,173
Ca ²⁺	"	3,14	4,88	4,96	0,47	0,45
Mg ²⁺	"	3,92	0,64	0,81	1,61	1,41
Cl ⁻	"	148,3	152	152,8	23,9	21,13
SO ₄ ²⁻	"	1,84	0,85	0,8	3,37	2,96
Alk	"	0,16	0,005	0,005	0,10	0,125
Fe	мг/кг	34,86	14,9	40,30	0,72	0,02
Mn	"	4,55	106,58	64,17	3,39	0,004
Zn	"	0,31	69,54	28,36	0,036	0,005
Cu	"	0,09	1,04	0,84	0,419	0,006
Ni	"	-	0,37	0,056	-	0,0005-0,002
Co	"	-	-	0,33	-	0,00004
Pb	"	0,17	0,64	0,27	0,017	0,00003
Si	"	8,4	4,2	4,7	3,0	0,0024
N _{NH₄}	"	64,9	33,6	8,9	1,6	-
S	%	244,3	250,6	251,7	43,0	38,2
pH		5,71	5,99	5,89	1,6	

Особенности состава рассолов и осадков во впадине Атлантис-II указывают на то, что ст.6 расположена, по всей вероятности, вблизи гидротермального источника, а ст.26 - на некотором удалении от него. Наблюдаемые во впадине Кебрит градиенты Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, H₂S и характер разреза позволяют предполагать, что появление рассолов в ней - дело недавнего прошлого, поскольку нижняя часть разреза отлагалась в условиях нормального моря. При этом, по-видимому, источник рассолов был локализован и рассолы поступали в осадки сверху.

Иловые воды из впадин Кебрит и Атлантис-II, судя по генетическим геохимическим критериям, являются рассолами выще-

лачивания галогенных толщ (Валяшко, Гурский, Брусилловский, 1980). Изотопный состав кислорода и водорода свидетельствует о возможном участии, наряду с морской водой, и метеогенных вод в качестве растворителя (Брусилловский, Гурский, Поляков и др., 1980). Так, во впадине Атлантис-II изотопный состав поровых рассолов значительно отличается от изотопного состава воды Красного моря практически на всех интервалах обробоования пятиметровых колонок. Более легкий изотопный состав зафиксирован и в поровых растворах рассолоносной впадины Кебрит. Иловые воды, отобранные вне рифтовой зоны и во впадинах без рассолов по содержанию дейтерия и ¹⁸O близки к нормальной воде Красного моря.

Сравнительный анализ иловых вод различной минерализации (40-44% и 238-254%) показал, что в высоко минерализованных водах концентрации Fe и Pb повышены на порядок (Fe от 0,4 - 1,4 до 8-14 мг/ кг; Pb - от 0,02 до 0,1-0,6 мг/ кг). Содержания Mn и Zn различаются незначительно. При сопоставлении холодных поровых рассолов с термальными в последних обнаруживается резкое повышение концентраций (в мг/кг). Mn от 2,5-5 до 110-120; Zn от 0,3-0,8 до 8-140; Cu от 0,04-0,4 до 1,3-1,8; Pb от 0,1-0,2 до 0,4-1,7. Наличие сероводорода в отложениях лимитирует содержание в иловых рассолах Fe, Zn, Cu, Pb и не оказывает существенного влияния на поведение Mn (Гурский, Богашова и др. 1986).

Литологический состав осадков также оказывает существенное влияние на распределение металлов в иловых рассолах. В терригенно-карбонатных отложениях повышены концентрации Mn, Pb, Cu и значительно понижены концентрации Fe (6-8 мг/кг) по сравнению с поровыми рассолами из гидротермальных (хемогенных) осадков (Fe = 25-55 мг/ кг).

Полученные данные свидетельствуют о том, что осадочная толща высокодисперсных терригенно-карбонатных отложений Красного моря может быть одним из основных источников высоких концентраций рудных компонентов в наддонных и иловых рассолах, агрессивность которых значительно возрастает с повышением температуры.

В заключении сформулированы основные выводы диссертации:

1. Впервые рассмотрен комплекс гидролого-гидрохимических характеристик глубинных красноморских вод и горячих рассолов совместно с геохимическими данными по осадкам и иловым водам. В основу работы положены наблюдения на более чем 1400 океанологических станциях, из них около 500 с комплексом химических определений. Это позволяет считать полученные результаты достаточно надежными.

2. Взаимодействие вод горячих рассолов с глубинными красноморскими водами прослеживается как по термохалинной, так и по химической структуре моря. Вдоль рифтовой зоны от 25° с.ш. до 16° с.ш. выделяются три области аномальных вод, хорошо выраженные в поле температуры и солености от горизонтов 400-500 м до дна. Контраст температуры и солености в отдельных случаях превышает 2,7° и 2‰. По гидрохимическим характеристикам аномальные воды выделяются в тех же пределах, но в виде непрерывного слоя. Особенно отчетливо они выражены в распределении силикатов.

3. По результатам изучения вод установлено, что в осадках, находящихся за пределами рифтовой зоны и в безрассолевых колонках захороненные воды не имеют существенных отличий в химическом составе макроэлементов по сравнению с нормальной морской водой. Иловые рассолы, изученные во впадинах Атлантис-II и Кебрит имеют соленость от 233 до 254‰ и относятся к хлор-кальциевому химическому типу вод. Величина pH снижается до 6,0-5,5.

Концентрации металлов в них, - в особенности, марганца, цинка, железа, меди, свинца, никеля, кобальта, серебра, а из биогенных элементов - кремния и аммонийного азота, - по сравнению с нормальными водами повышаются в десятки, сотни и даже тысячи раз.

4. Установлена закономерная связь океанологических параметров и процессов, происходящих в водной толще бассейна, с геохимическими характеристиками и процессами, протекающими в донных отложениях Красного моря. Показано, что иловые воды являются важным связующим звеном между этими процессами. Химический состав иловых вод отражает основные гидрохимические

особенности водоема, а также влияние гидродинамики, усложняющей седиментации и диагннеза в воде и осадках.

5. Установлено, что в рифтовой зоне Красного моря в тектонических депрессиях донного рельефа преобладающую роль в составе осадков играет хемогенный материал гидротермального происхождения, представленный силикатами, солями и металлоносными илами в виде гидроокислов и сульфидов. По методике акад. Н.М. Страхова рассчитан железо-марганцево-титановый модуль, считающийся критерием гидротермальности. Расчет показал, что при фоновой величине коэффициента, составляющей в нормальных осадках 10-12, он повышается в осадках рифтовой зоны до 100-300, что выше фонового показателя более чем на порядок. Таким образом, получены доказательства заметной роли гидротермального фактора в формировании химического состава осадков рифтовой зоны.

По теме диссертации опубликована статья:

И.Э. Дигхади, В.П. Шевченко. Океанологические и геологические условия формирования металлоносных рассолов и осадков в Красном море. Деп. ВИНТИ, № 2154 от 25.03.1987 г. Вестник МГУ, сер. географическая, № 4, 1987.



Зак. № 566 Тир. 100
ОрПИ Мосгидротранса