



Содом и Гоморра. Художник Джон Мартин. Первая половина XIX в.

УДК 553.63:553.776(267.33)



Беленицкая Г.А.

Мертвое море: геология, происхождение, мифы Часть 2. Происхождение и история развития солей, диапиров и рассолов Мертвого моря¹

Беленицкая Галина Александровна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ)

E-mail: Galina_Belenitskaya@vsegei.ru, ankudinovo@mail.ru

Восстановлена история формирования соленосной грабеновой структуры Мертвого моря как крупного очага активной рассольно-соляной разгрузки недр плиоцен-четвертичного времени. Предложена аллохтонная (регенерационная) модель происхождения заполняющих ее солей за счет перетока более древних (мезозойских) рассольно-соляных масс из Северо-Синайско-Пальмирской авлакогенной зоны. Генезис современных рассолов Мертвого моря автор связывает с голоценовой историей очага рассольной разгрузки. Авторское видение генетической природы соленосной системы Мертвого моря, условий ее возникновения и развития как очага палео- и современной разгрузки недр является оригинальным.

Ключевые слова: Мертвое море, соли, рассолы, соляные диапиры, очаг разгрузки, происхождение солей и рассолов, Левантский сдвиг, Синайско-Пальмирская палеорифтовая зона.

Уникальный природный рассольно-соляной объект Мертвое море локализован в глубочайшем (до 8–10 км) грабене, в самой низкой точке суши. Высокая насыщенность солями, рассолами, а возможно и углеводородами, солянокупольное строение при ограниченной площади и совсем небольшой мощности перекрывающих отложений, рекордный по глубине рассольный водоем, в сочетании с сеймотектонической и флюидодинамической напряженностью недр, – все эти особенности, охарактеризованные нами в первой части этой статьи, должны

¹ Продолжение. Начало см.: Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 1. «Соленосное чудо» планеты // Пространство и Время. 2013. № 2(12). С. 159–172.
Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 07-05-00907-а, 10-05-00555-а.

стать ключевыми при обсуждении проблемы генетической природы соленосности Мертвого моря. В этой проблеме можно обозначить два аспекта: генезис знаменитых поверхностных рассолов самого Мертвого моря-озера и происхождение вмещающей их соляной «чаши» – соляного выполнения грабена. Соли, заключенные в рассолах Мертвого моря, при всей масштабности их общей массы, составляют лишь небольшую долю (около половины процента) от массы солей, выполняющих грабен и образующих субстрат рассольного водоема, так что вопрос об их генезисе является в какой-то мере второстепенным по отношению проблеме происхождения соляной «чаши». Поэтому, хотя в литературе чаще обсуждается первый вопрос, мы начнем со второго.

Происхождение солей грабена Мертвого моря

В процессе образования каменной соли, таком, казалось бы, простом и ясном, еще очень много остается спорного.

М.А. Жарков¹

Все перемены в натуре случающиеся такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимается, столько присовокупится к другому.

М.В. Ломоносов

Отыщи всему начало, и ты многое поймешь.

К. Прутков

Существующие представления: поверхностные воды или рассольно-соляные инъекции? Главные и наиболее спорные вопросы проблемы происхождения солей – доминирующие источники и ведущие способы и механизмы их накопления. Разрабатываются две главные альтернативные группы гипотез: эвапоритовые (климатические) и инъекционно-осадочные (аклиматические) (табл. 1).

Таблица 1

Основные модели галогенеза

Группы моделей	Типы моделей	Основные источники галогенного вещества	Векторы поступления	Ведущие процессы и факторы кристаллизации*	Причины кристаллизации
ЭВАПОРИТОВЫЕ	Мелководно-бассейновые: – баровая – подготовительных бассейнов – шельфов сатурации – расслоенных рассолов – многократных осушений – сзбхи – сухого озера Глубоководно-бассейновые	Природные поверхностные воды (морские, озерные, речные)	Сублатеральный приток	Кристаллизация в результате испарения, иногда вымораживания	Удаление растворителя
ИНЪЕКЦИОННО-ОСАДОЧНЫЕ	Регенерационная (рассольно-соляного рециклинга): – рассольно-осадочная – аллохтонная (галокинетическая)	Глубинно-коровая ремобилизация рассольно-соляных масс	Восходящая глубинная разгрузка	Кристаллизация в результате химического взаимодействия, изменения температуры (при смешении рассолов с бассейновыми водами)	Высаливание, кристаллизация менее растворимых соединений – <i>химические барьеры</i> ; снижение растворимости – <i>температурный барьер</i>
	Эксталяционно-осадочная	Эндогенный – мантийно-магматогенные рассолы			

*Для аллохтонного (галокинетического) соленакопления – восходящее перемещение солей и растекание на новых седиментационных уровнях в результате суммарного воздействия тектонических, флюидных и галокинетических сил.

Согласно эвапоритовым, ныне наиболее распространенным во всем мире, основной источник солей – поверхностные (преимущественно морские) воды Земли, а главный механизм накопления – естественное (солнечное) выпаривание, обусловленное сухим и жарким климатом. Появление целого ряда модификаций эвапоритовых гипотез (табл. 1) обусловлено сложностью адекватного раскрытия геологических обстановок реализации процессов сгущения и выпаривания природных вод, способных обеспечить накопление колоссальных объемов соляных толщ, их метаморфизацию (изменения гидрохимических характеристик как необходимого условия образования хлоридных солей из сульфатных морских вод) и т.д.

Гипотезы инъекционно-осадочной группы, не отрицая участия эвапоритовых процессов, обосновывают определяющую роль вклада в масштабное соленакопление восходящих рассольно-соляных инъекций, разгружающихся в седиментационные бассейны. По одной из гипотез – эксталяционно-осадочной – это «собственно эндогенные» мантийно-магматогенные рассолы (Л.М. Бирин, В.И. Созанский, В.П. Порфирьев, Н.М. Джиноридзе, С.Д. Гемп, А.Ф. Горбов, В.И. Раевский). По другой – регенерационной (или рециклинговой), которую

¹ Фивег М.П. Как образуются залежи каменной и калийной солей / Отв. ред. М.А. Жарков. Новосибирск: Наука. 1983. С. 4.

разрабатывает автор¹ – ремобилизованные на глубине более древние рассольно-соляные массы. Преобладание в составе восходящих инъекций либо рассолов, либо соляных масс определяет различия как способов разгрузки, так и механизмов накопления солей (табл. 2).

Таблица 2

**Основные участники, характер разгрузки погребенных рассольно-соляных масс
и способы соленакопления на новых уровнях**

Участники разгрузки	Очаги разгрузки	Характер разгрузки	Способы соленакопления
Рассолы, преимущественно Cl-Na-Ca, Cl-Ca и Cl-Mg-Ca типа, высокоминерализованные, с характерным комплексом галофильных микрокомпонентов, часто H ₂ S-содержащие, сопряженные жидкие углеводороды и газы	Восходящие источники, высачивания, рассольные озера и др.	Излияние, истечение, фонтанирование	Хемогенное – рассольно-осадочное (неоавтохтонное)
Углеводородно-рассольно-соляные массы	Галовулканы (углеводородно-рассольно-соляные)	Извержение (амагматическое) эксплозивное (взрывное), истечение	Эксплозивно-осадочное в сочетании с хемогенным и аллохтонным
Соляные массы	Диapiры, аллохтонные покровы, соляные глетчеры	Выдавливание, излияние, растекание	Галокинетическое – аллохтонное

В случае рассолов (и по регенерационной и по эксгальационной моделям) основная роль отводится процессам химического взаимодействия между ионами разгружающихся высококонцентрированных рассолов (преимущественно хлоридно-кальциевого типа) с бассейновыми водами (чаще всего сульфатными). Причиной кристаллизации при этом является либо образование относительно трудно растворимых соединений (ангидрита, гипса), либо высаливание². Определенную роль играет также снижение растворимости солей при падении температуры. В случае инжектирования в седиментационные бассейны аллохтонных³ соляных масс ведущими становятся процессы растекания и аккумуляции уже «готовых» соляных масс. Одно из принципиальных отличий гипотез инъекционной группы состоит в том, что для накопления солей они не предполагают необходимости испарения и тем более полного высыхания водоемов.

Все варианты генетических представлений неоднократно обсуждались в отечественной и зарубежной литературе. Их сравнительный анализ был дан, в частности, в отдельных работах⁴. Принципиальная возможность – и физико-химическая и кинетическая – процессов соленакопления, предусматриваемых гипотезами каждой из групп, достаточно полно обоснована и подтверждена расчетами, экспериментами и прямыми наблюдениями в разнообразных современных природных обстановках. Спорным остается вопрос об их геологической значимости – о масштабах и относительной роли в накоплении мощных соляных толщ.

Применительно к соляным толщам Мертвого моря обычно рассматриваются лишь эвапоритовые гипотезы. Источником солей считаются поверхностные воды либо палеореки Иордан, либо Средиземного палеоморя, временно проникавшие в плиоцене во впадину Мертвого моря по окольному проливу (рис. 1). Возможность участия в соленакоплении каких-либо глубинных поступлений рассолов и солей в известной нам литературе не обсуждалась.

Обе версии эвапоритовой модели встречают серьезные возражения. Против «речной» главным доводом является пресноводность речных вод (соленость которых, как правило, не превышает десятых долей г/л), их гидрохимический тип (преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный), состав микрокомпонентов и их ничтожное содержание, а также, что очень важно, обилие терригенной взвеси, существенно превышающей количество растворенных солей. Учитывая огромные мощности накопившихся солей Мертвого моря, их чисто хлоридный состав, относительную чистоту от терригенных примесей и ряд других геолого-геохимических показателей, эти возражения настолько серьезны, что в настоящее время «речная» версия в геологической литературе почти не обсуждается.

Критика «морской» версии неоднократно приводилась при обсуждении общих проблем соленакопления, не связанных с Мертвым морем (Н.А. Кудрявцев, В.И. Созанский, Н.М. Джиноридзе, Г.А. Беленицкая и др.). Главные возражения касаются противоречий эмпирических фактов и теоретических оценок – отличий реальных вещественных, структурно-текстурных и пространственных особенностей соляных толщ от тех, которые должны возникнуть при солнечном выпаривании морских вод. Наиболее значимые из них: несоответствие наблюдаемых количественных соотношений минеральных составляющих природных солей и их последовательностей расчетным и экспериментальным данным; отсутствие в соленосных разрезах следов предполагаемых эвапоритовой моделью многократных усыханий палеоводоемов и условий для их возникновения; характер палеогеографических и фациальных соотношений с синхронными образованиями; физико-химические показатели жидких включений⁵; прак-

¹ Беленицкая Г.А. Галогенсодержащие бассейны // Литогеодиника и минерагения осадочных бассейнов / Под ред. А.Д. Щеглова. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 1998. С. 220–320; и др.

² Высаливание – выделение (вытеснение) одного менее растворимого вещества из раствора путем введения в него другого вещества, обладающего большей растворимостью, благодаря чему оно «связывает» растворитель. В природных обстановках распространены процессы высаливания веществ, обладающих общим ионом. Например, высаливание из растворов (выпадение в осадок) поваренной соли NaCl более растворимыми хлористыми кальцием или магнием (общим ионом является ион хлора).

³ Аллохтонный (аллос, *греч.* – другой, хтон, *греч.* – земля) – образовавшийся в другом месте, чужеродный по отношению к месту современного нахождения

⁴ Джиноридзе Н.М., Гемп С.Д., Горбов А.Ф., Раевский В.И. Закономерности размещения и критерии поисков калийных солей СССР. Тбилиси: КИМС. 1980. 374 с.; Фивег М.П. Указ. соч.; Беленицкая Г.А. Галогенсодержащие бассейны...

⁵ Реддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2 т. М.: Мир, 1987. Т.1. 560 с. Т. 2. 632 с.; Петриченко О.И. Физико-химические условия осадкообразования в древних солеродных бассейнах. Киев: Наукова думка, 1988. 128 с.

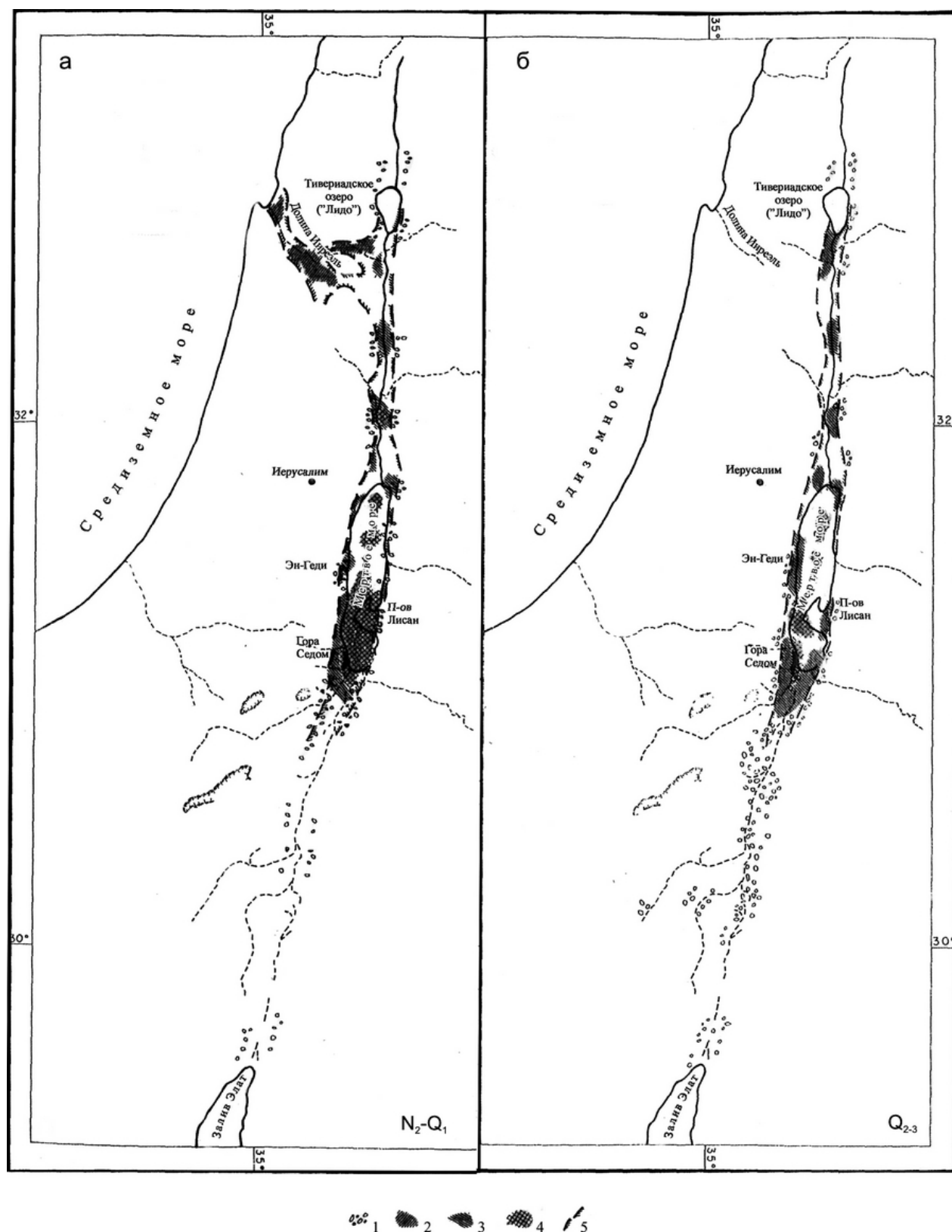


Рис. 1. Литолого-фациальная схема Левантского региона для позднего плиоцена-раннего плейстоцена: а - для позднего плиоцена-раннего плейстоцена (прослеживается предполагаемый путь проникновения морских вод Средиземного моря во впадину Мертвого моря - в «Лагуну Седом»); б - для плейстоцена (озера Амора, Лисан). Прослеживается предполагаемый путь проникновения морских вод Средиземного моря во впадину Мертвого моря - в «Лагуну Седом»¹. 1 - конгломераты; 2 - карбонаты, обломочные осадки; 3 - карбонаты, сульфаты, обломочные осадки; 4 - галит, в подчиненном количестве карбонаты, сульфаты, обломочные осадки; 5 - границы ингрессии.

¹ По: Zak I., Bentor Y.K. Same new data on the salt deposits of the Dead Sea area, Israel. UNESCO, 1972. Geol. of saline deposits. Proc. Hanover Symp. 1968. (Earth sciences, 7). P. 137-144.

тическое отсутствие морской фауны, поступление и захоронение которой неизбежны при каждом новом притоке морских вод (так же как и ее хорошая сохранность в осадочных разрезах, поскольку соль и рассолы – прекрасные природные консерванты); и т.д.

Весомость этих возражений применительно к соляным толщам Мертвого моря резко повышают многие специфические особенности этих толщ. Прежде всего – «фокусированный» характер накопления столь огромных соляных масс при отсутствии вне грабена отложений, фациально сопряженных с солями, незначительное содержание в солях терригенного материала (снос которого неизбежно должен был происходить за счет высочайшей интенсивности эрозии бортовых ограничений – крутых, высоких и тектонически нарушенных). К тому же весьма проблематична сама вероятность многократного преодоления морскими водами весьма длинного окольного пути вдоль новообразованных узких тектонических расселин. Тем более предполагаемых столь масштабных их поступлений. Особого внимания в этой связи заслуживает и вопрос о характере исходного залегания солей. По эвапоритовой модели оно может быть лишь пластовым. Между тем более вероятна уже первоначальная неправильная штокообразная форма соляного тела, поскольку сомнительна возможность образования из пластовых солей солянокупольных структур при отсутствии над ними сколько-нибудь мощного осадочного перекрытия (обще-признанной предпосылки начала соляных деформаций) и при отсутствии необходимой площади распространения пластовых солей, способных обеспечить нужный объем соли, «стянутой» в соляные поднятия.

Все это делает «морскую версию» образования солей Мертвого моря мало вероятной.

«Аллохтонная» модель. Попробуем оценить возможность использования второй – регенерационной гипотезы. Применительно к солям грабена Мертвого моря наиболее удачной представляется ее аллохтонная разновидность. В соответствии с ней ведущую роль в накоплении этих солей могли играть процессы их перетока в возникшую в позднем плиocene тектоническую щель, ставшую очагом разгрузки¹ более древних соляных (рас-сольно-соляных) масс, ранее заключенных в мезозойских складчатых системах Северо-Синайско-Пальмирской зоны (рис. 2).

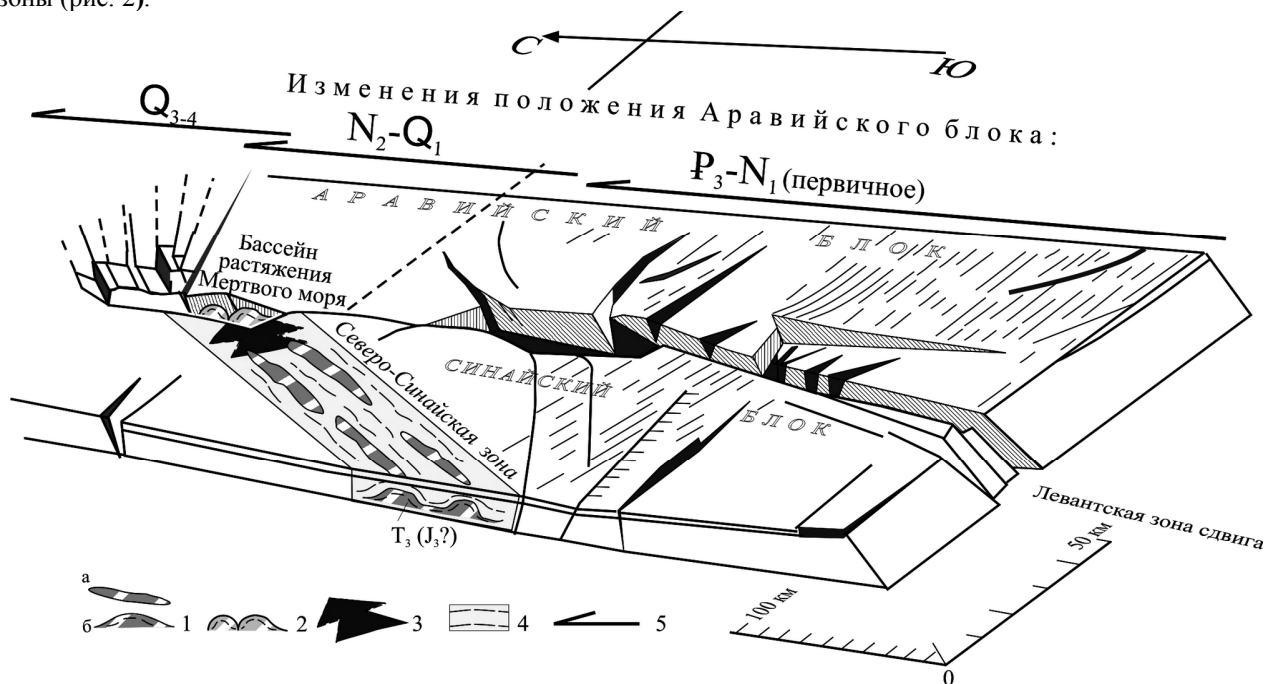


Рис. 2. Формирование очага соляной разгрузки: эволюция Левантской сдвиговой зоны, образование тектонической щели Мертвого моря (время позднеплиоценовой фазы раздвига) и внедрение в нее аллохтонных соляных масс. Составила Г.А. Беленицкая². 1 – антиклинальные поднятия толщ мезозойских солей $T_3(J_3?)$ Северо-Синайской зоны; а – в проекции на план, б – в палеоразрезе; 2 – аллохтонные соляные массы, инъецированные в щель растяжения Мертвого моря; 3 – направление внедрения мезозойских солей в щель растяжения; 4 – осадочные комплексы (J-N), перекрывающие мезозойские соляные толщи; 5 – основные направления перемещения тектонических блоков

Основанием для такого заключения послужили три группы фактов.

Первая группа фактов. Уже обсуждавшаяся морфология соляного тела: вероятнее всего неправильно-штокообразная уже во время его образования. Резко отличаясь от пластообразных седиментационно-эвапоритовых форм, она скорее была подобна протрузии, примыкающей к западному борту.

Вторая группа фактов. Наличие в плиocene на контакте с грабеном вероятного источника солей для перетока – мезозойских соляных толщ в разрезе Северо-Синайской структуры. В доступной нам литературе этот вопрос не рассматривался и требует несколько более развернутого обоснования.

Мощные (более 3 км) толщи верхнетриасовых (возможно верхнеюрских) солей широко распространены в

¹ Очаг разгрузки – естественный выход (излив, высачивание, истечение, фонтанирование, извержение, излияние, переток) подвижных компонентов недр (минеральных вод, нефтей, газов, пластичных или разжиженных породных масс, их смесей), обычно вместе с участком (местом) расположения этого выхода.

² Геодинамическая основа модифицирована по: Обстановки осадконакопления и фации / Под ред. Х. Рединга. М.: Мир. 1990. Т. 2. 381 с

пределах Пальмирской структуры – северо-восточной ветви ранее единой Северо-Синайско-Пальмирской палеорифтогенной зоны (рис. 3)¹.

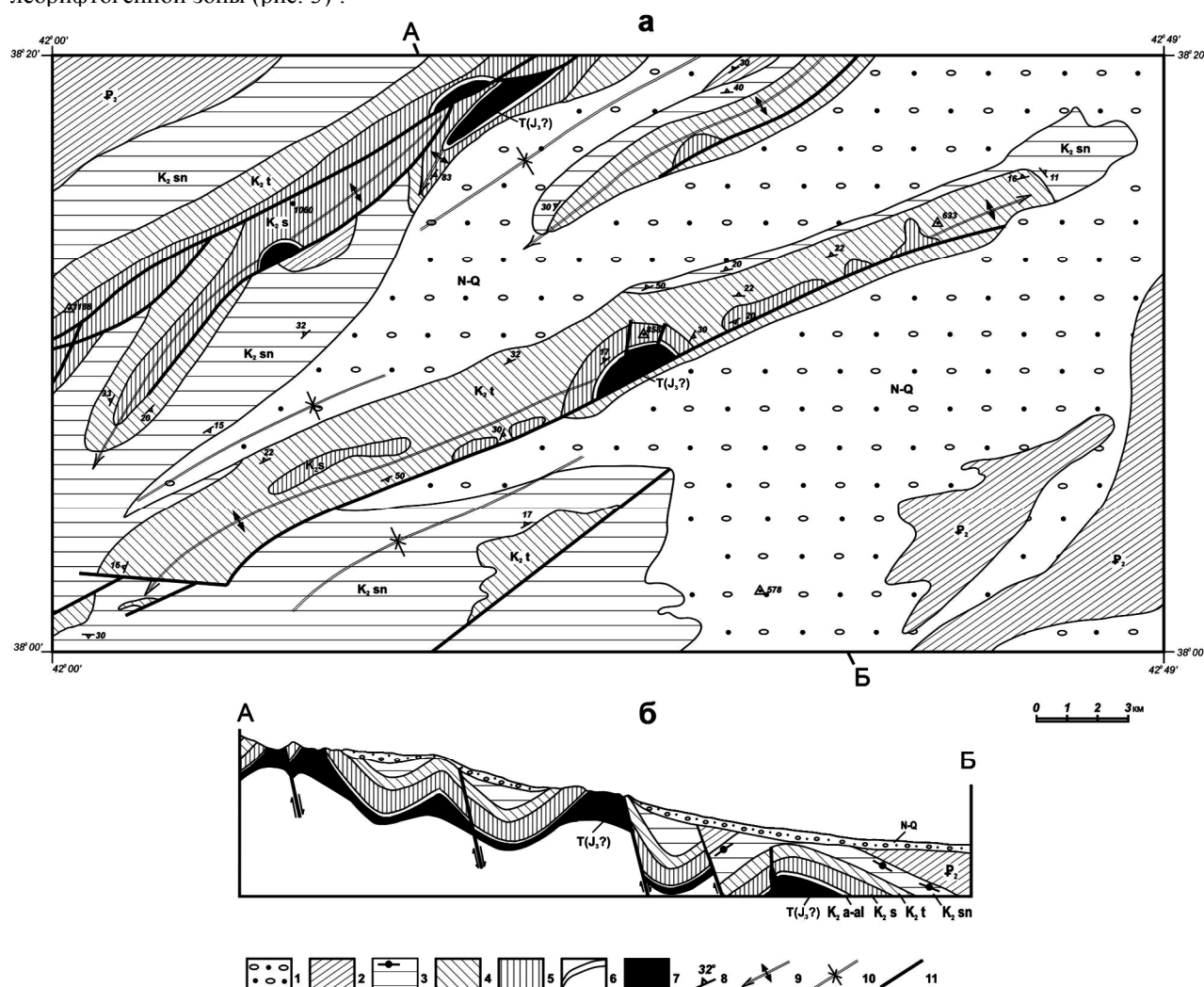


Рис. 3. Пальмирский соленосный бассейн (Пальмирская гряда, к востоку от Левантской зоны): а – геологическая карта, б – разрез по линии А-В². 1–6 – надсолевые отложения; 7 – соли, диапиры (Т(J,?)); 8 – углы падения; 9 – оси антиклиналей; 10 – оси синклиналей; 11 – тектонические нарушения.

О вероятной соленосности разреза также и Северо-Синайской ветви (былого непосредственного продолжения Пальмирской) свидетельствуют многие веские геологические показатели. Прежде всего – единство этих двух ветвей в мезозое – и палеотектоническое, и палеогеографическое, и формационное. При этом по простиранию Пальмирской зоны в юго-западном направлении (в сторону ограничивающего ее сдвига) не отмечается тенденций к выклиниванию соленосных толщ. У мезозойских осадочных последовательностей в пределах обеих ветвей наблюдаются черты сходства общего структурно-тектонического плана, однотипность литогеохимических, формационных и литолого-фациальных показателей. В современных приповерхностных разрезах триасово-юрских комплексов Северо-Синайской зоны преобладают гипсы и доломиты³, аналогичные развитым в Пальмирской зоне. А именно они, наряду с солями, являются главными (при этом – наиболее устойчивыми) членами соленосных парагенезов.

Вероятность присутствия солей в составе мезозойских отложений Северо-Синайской зоны (а возможно и в опущенном блоке грабена Мертвого моря) подтверждают и более общие трансрегиональные палеорекострукции тектоно-седиментационных условий соленакпления, которые характеризовали в позднетриасово-позднеюрское время единую протяженную Мексиканско-Средиземноморскую систему внутри- и межконтинентальных рифтов (рис. 4а). Эта система, связанная с расколом Пангеи и заложением мезозойского Нео-Тетиса, контролировала формирование вдоль его молодых рифтогенных границ по окраинам Лавразии и Гондваны мощнейшего одноименного соленосного суперпояса. Этот пояс характеризовался чрезвычайно масштабным и широким развитием солей, в том

¹ Моделировано по: Omara S. Diapiric structures in Egypt and Syria. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1964. V. 48. №7. P. 1116–1125. Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамия Ж. Деформации запада Аравийской плиты как результат сдвиговых перемещений по Левантскому разлому. Геотектоника. 1994. №3. С. 52–65. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. М.: Недра. Вып. 1. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. 1971. 548 с.; и др.

² Omara S. Op. cit.; Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамия Ж. Указ. соч.; Хаин В.Е. Указ. соч.

³ Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамия Ж. Указ. соч.; Atlas of Israel: cartography, physical geography, human and economic geography, history. Jerusalem: Survey of Israel, Ministry of Labour, and Amsterdam, Elsevier. 1970.

числе в своей восточной части, включающей интересующую нас Северо-Синайско-Пальмирскую палеорифтогенную соленосную зону. Позже пояс был разделен новообразованным субмеридиональным Атлантическим океаном на две гигантские соленосные ветви – Мексиканскую и Средиземноморско-Аравийскую. На неотектоническом этапе в их пределах возникли сопоставимые по масштабу неоген-четвертичные соленосные пояса (рис. 4б). Для обеих ветвей хорошо просматривается унаследованность размещения как общих контуров поясов, так и отдельных соленосных бассейнов неотектонического времени по отношению к позднеэриасово-юрским.

Еще одним подтверждением присутствия (по крайней мере, бывшего) в разрезах Северо-Синайской структуры солей и связанных с ними высококонцентрированных рассолов и углеводородов может служить широкое развитие здесь вдоль тектонических нарушений, секущих верхнемеловые и эоценовые породы, компонентов галофильного сообщества¹, возникших в плио-плейстоцене, но продолжавших формироваться и в голоцене. Эти новообразования представлены жилами галита, гипса и битума, а также зонами интенсивнейшей массивной метасоматической доломитизации, сопровождаемой характерным рудным парагенезом (барит, полиметаллы, Au–Ag и др.). Все вместе они отвечают типичному галофильному рудно-породному парагенезу, обычно возникающему под воздействием флюидов, связанных с соленосными отложениями².

Мезозойские соляные толщи всей Северо-Синайско-Пальмирской зоны в неогене, а частично возможно и раньше, под влиянием напряжений сжатия были повсеместно интенсивно дислоцированы и в разной мере осложненные диапиризмом. Для Пальмирской зоны установлено, что они служили горизонтами срыва и дисгармонии³. Тогда же были, по-видимому, сформированы и залежи углеводородов, при этом, очень вероятно, обогащенные сероводородом, что характерно для углеводородов, находящихся в осадочных разрезах такого (галогенно-карбонатного) формационного типа⁴. Все это могло способствовать развитию наблюдаемых ныне в надсолевых породах метасоматических преобразований.

Третья группа фактов. Возникновение в позднеплиоценовое время, благодаря интенсивнейшим тектоническим импульсам, сочетание условий для реализации перетока солей: образование самого щелевидного грабена Мертвого моря и смещение среза Северо-Синайской соленосной ветви к месту его «утыкания» в эту новообразованную щель⁵ (рис. 2). В итоге, в срезе Северо-Синайской структуры, вмещавшей сдавленные соляные массы, рассолы и углеводороды, возникли условия для их интенсивного выжимания и иммиграции в тектоническое зияние – в только что возникшую глубокую сдвиго-раздвиговую щель. Разгрузке способствовали условия значительных напряжений сжатия и повышенных температур в соленосной структуре, при которых подвижность солей и их способность к течению резко возрастают. Внутри же «щели», в условиях более низких давлений и температур, текучесть выдавленных солей резко снижалась до «нормального» состояния. В итоге возник своеобразный каплевидный макродиапир, оторванный от материнской соли. Та же участь – активная эмиграция в щель – в еще большей мере должна была постигнуть рассолы и углеводороды.

Высокую скорость заполнения грабена штокообразным соляным телом подтверждает и соотношение этого тела с узкой полосой грубо- и среднеобломочных терригенных отложений, которые присутствуют лишь в прибрежной зоне грабена, резко сменяясь к его внутренним частям относительно чистыми (от терригенного материала) солями сопоставимой мощности⁶. Накопление таких отложений только в приразломных частях грабена – в «заворах» между его ограничениями и соляным телом – свидетельствует о наличии для сноса терригенного материала «серьезного» препятствия – своеобразного «упора» со стороны соляного тела. А это возможно лишь при очень быстром, опережающем, заполнении прогиба солями, поступающими скорее всего из иного (не поверхностного) источника и находящимися уже в достаточно плотном – литифицированном состоянии.

«Родство» рассольно-соляного выполнения грабена Мертвого моря с «материнскими» мезозойскими солями Северо-Синайско-Пальмирской зоны подтверждает ряд их сходных черт: наличие в разрезе прослоев калийных солей; высокие содержания в восходящих термальных рассолах K, Mg, Br; присутствие в рассолах сероводорода – члена соляного сообщества и важного показателя наличия в разрезе галогенно-карбонатных комплексов⁷, подобных Пальмирскому бассейну; обогащенность нефтяными углеводородами; сходный характер перемятости солей и др.

Итак, есть веские основания полагать, что в конце плиоцена в новообразованный грабен Мертвого моря стал очагом разгрузки соляных масс. В него внедрилась масштабная соляная протрузия, заполнившая значительную часть его объема и уже изначально имевшая форму массивного асимметричного тела, прижатого к западному борту – к источнику вторжения, и утоненного в дистальной части. Совпадение места и времени «появления» солей во впадине Мертвого моря с местом и временем образования сдвиго-раздвиговой щели на пересечении Левантской зоны с соленосной Северо-Синайской структурой позволяет довольно уверенно считать, что именно эта структура послужила главным источником солей, а глубокая тектоническая щель создала оптимальные условия для перетекания в нее рассольно-соляных масс с образованием мощного штокообразного тела и его дальнейшего наращивания хемогенными (рассольно-осадочными) соленосными отложениями (рис. 5). Нельзя исключить участие во всех этих процессах также и тех мезозойских солей, которые могли оказаться в составе глубоко опущенного блока мезозойских пород во внутренних частях грабена.

¹ Gilat A. Hydrothermal activity and hydro-explosions as a cause of natural combustion and pyrolysis of bituminous rocks: the case of Pliocene metamorphism in Israel (Haturim formation). Geol. Surv. Israel. Curr. Res. 1998. V. 11. P. 96–102. Гилат А. Содом и Гоморра: гидротермальные взрывы и самовозгорание горючих газов, вызванные землетрясением? // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь. М.: ГЕОС. 2010. С. 112–114.

² Беленицкая Г.А. Галогенсодержащие бассейны ... и др.

³ Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамия Ж. Указ. соч.

⁴ Беленицкая Г.А. Галогенсодержащие бассейны...; Беленицкая Г.А. Природные соляно-нафтидные гиганты // Природа. 2013. № 1. С. 11–23. Belenitskaya G.A. Distribution pattern of hydrogen sulphide-bearing gas. Petroleum Geoscience, London, 2000. V. 6. N 2. P. 175–187.

⁵ Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамия Ж. Деформации запада Аравийской плиты...; Хаин В.Е. Региональная геотектоника...

⁶ Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region. The Geological Soc. of America. Spec. Paper. 1968. P. 139–156.

⁷ Belenitskaya G.A. Distribution pattern ...

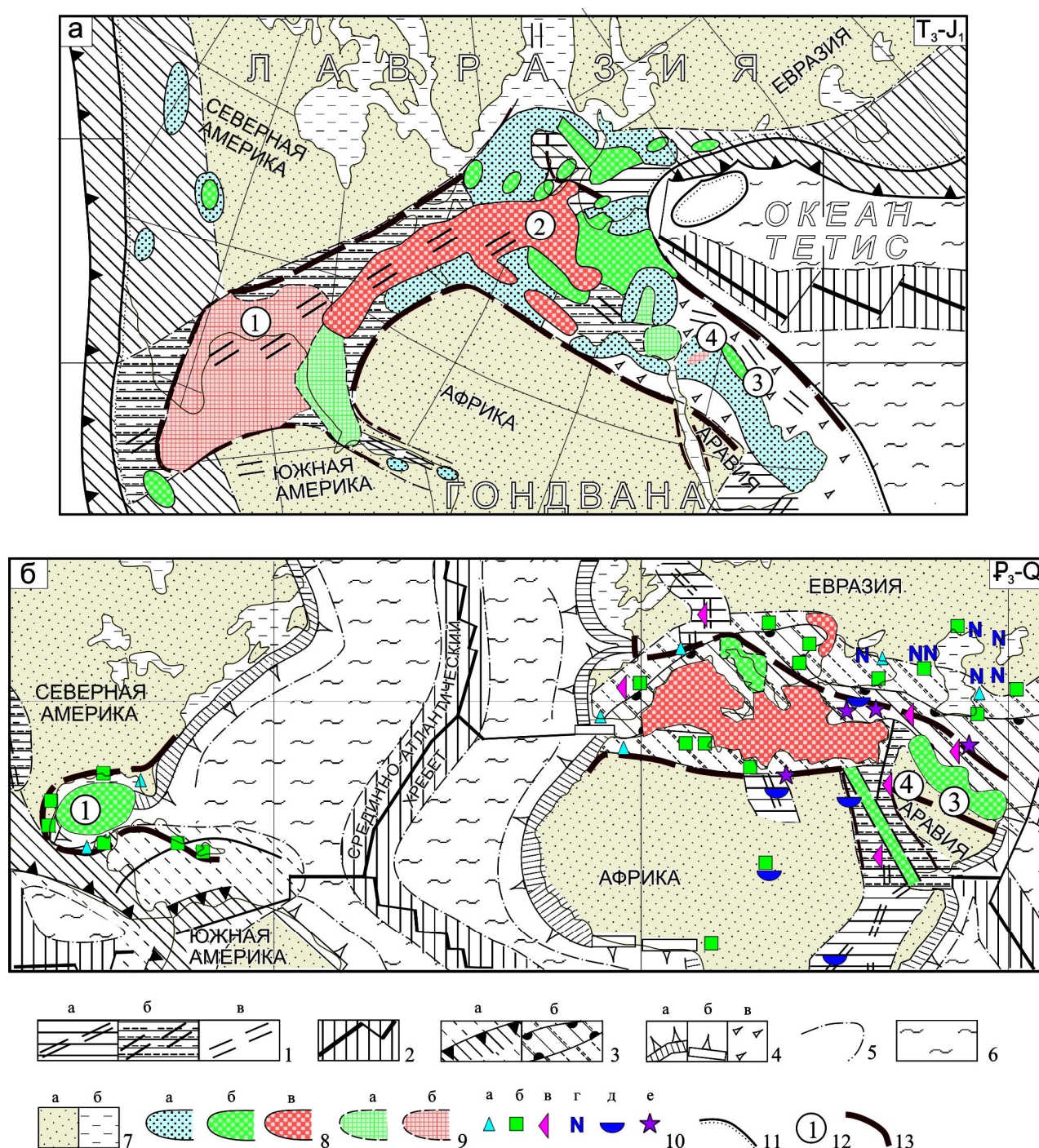


Рис. 4. Мексиканско-Средиземноморский соленосный суперпояс. а – соленосные бассейны триасово-юрского этапа (T_3-J_1), б – соленосные бассейны неогеодинамического этапа (P_3-Q). Составила Г.А. Беленицкая.

1 – 4 – геодинамические пояса: 1 – рифтовые континентальные (а – внутриконтинентальные, б – межконтинентальные, в – рифтовые зоны), 2 – рифтовые океанические, 3 – субдукционные (а) и коллизионные (б) (пунктирная штриховка – периферические зоны), 4 – пассивноокраинные (а, б – для неогеодинамического этапа: а – рифтогенные, б – сдвиговые; в – для триасово-юрского времени, без уточнения); 5 – границы между областями с разными типами геодинамического режима; 6 – внутриплитные океанические области; 7 – внутриплитные стабильные континентальные области: а – в пределах суши, б – в пределах акваторий; 8 – соленосные формации установленные, геохимические типы: а – сульфатно-кальциевый, б – галититовый, в – хлоридно- и сульфатно-калиевый; 9 – соленосные формации предполагаемые, геохимические типы: а – галититовый, б – хлоридно-кальциевый, в – хлоридно- и сульфатно-калиевый, г – сульфатно-натриевый, д – содовый, е – пестрого состава; 11 – границы блоков континентальной коры для триасово-юрского времени; 12 – крупные соленосные бассейны Мексиканско-Средиземноморского суперпояса (цифры в кружках): 1 – Мексиканский, 2 – Средиземноморский, 3 – Месопотамский, 4 – Северо-Синайско-Пальмирский (Мертвого моря); 13 – общий ареал распространения триасово-юрских солей Мексиканско-Средиземноморского суперпояса (тонкие линии – зоны пересечения с другими соленосными поясами).



Рис. 5. Модель внедрения аллохтонных рассольно-соляных масс в котловину Мертвого моря. Схематический палеопроект вдоль Северо-Синайской авлакогенной зоны и поперек тектонической щели Мертвого моря на время позднеплиоценовой фазы раздвига. Составила Г.А. Беленицкая.

1 – мезозойские соляные толщи $T_3(J_3?)$ в Северо-Синайской зоне; 2 – аллохтонные углеводородно-рассольно-соляные массы, инжектированные в щель растяжения Мертвого моря; 3 – направление внедрения аллохтонных масс; 4 – осадочные комплексы (J-N), перекрывающие мезозойские соляные толщи; 5 – возможное положение залежей углеводородов; 6 – проявления грязевого (а) и соляного (б) вулканизма; 7 – тектонические нарушения.

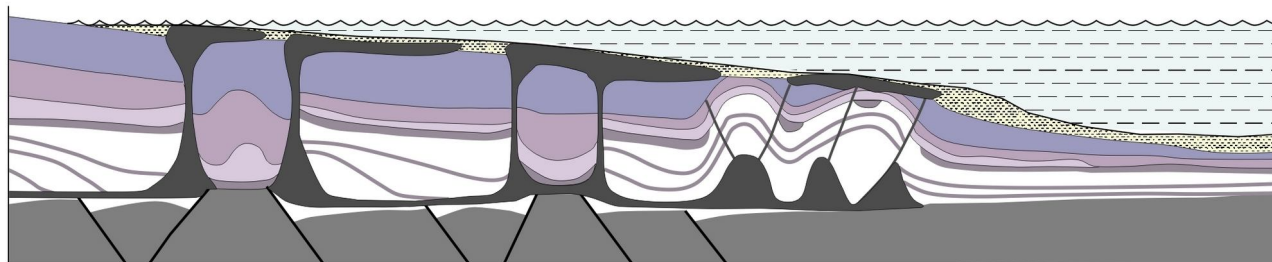


Рис. 6. Принципиальная схема развития аллохтонных соляных покровов при растекании солей по дну акваторий синхронно с накоплением морских осадков. Черное – соль¹, упрощено.

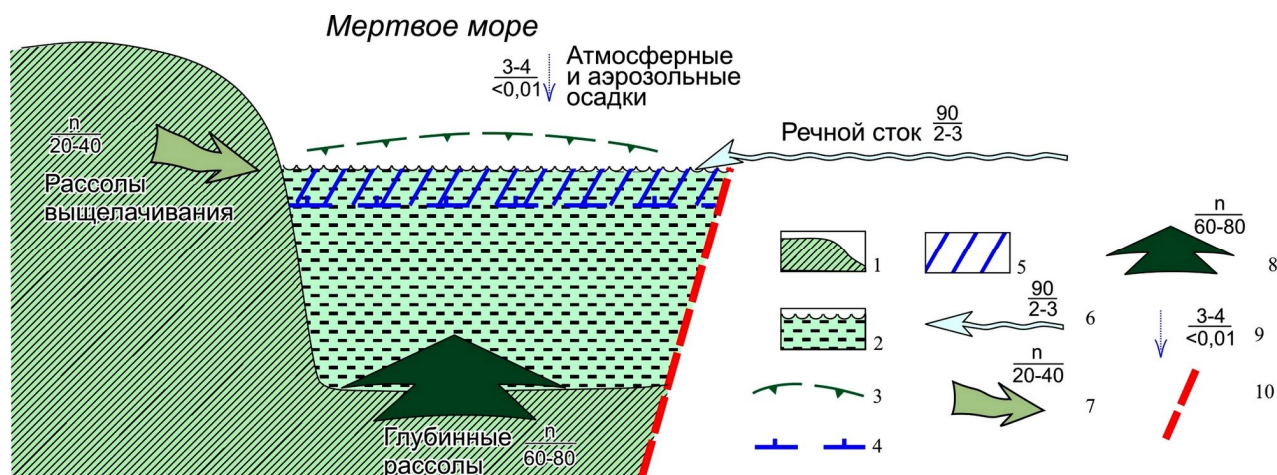


Рис. 7. Модель формирования водного и солевого баланса Мертвого моря. Составила Г.А. Беленицкая.

1 – соленосные отложения субстрата; 2 – рассолы Мертвого моря; 3 – напорный уровень глубинных рассолов; 4 – ориентировочная глубина интенсивного влияния вод поверхностного стока; 5 – зона смешения вод поверхностного и глубинного стока (верхний слой стратифицированных рассолов); 6–9 – главные участники водного и солевого питания Мертвого моря (обобщение², длина стрелок и цифра в числителе (%) отражают относительную роль каждого участника в водном питании, ширина стрелок и цифра в знаменателе – их роль в солевом питании: 6 – воды поверхностного (речного) стока, 7 – рассолы выщелачивания солей, 8 – глубинные напорные рассолы, 9 – атмосферные осадки и аэрозольный солевой занос; 10 – тектонические нарушения.

¹ Из работы: Беленицкая Г.А. Природные соляно-нафтидные гиганты // Природа. 2013. №1. С. 11–23.

² По: Bentor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 1961. V. 25. P. 239–260; Neev D., Emery K.O. The Dead Sea depositional processes and environments of evaporates. Jerusalem. 1967. 148 p.; Atlas of Israel: cartography, physical geography, human and economic geography, history. Jerusalem: Survey of Israel, Ministry of Labour and Amsterdam, Elsevier. English. 1970; Иордан // Википедия. 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: ru.wikipedia.org/wiki/Иордан.

Показательно, что в условиях двух других типов соотношений между ветвями соленосной Северо-Синайско-Пальмирской структурой и Левантским сдвигом сколько-нибудь значительные новообразования солей пока не отмечались. Так, с одной стороны, ни соли, ни высококонцентрированные рассолы не известны в другом более северном ромбовидном тектоническом «звании» Левантской зоны, занятом Тивериадским (или Галилейским) озером (абс. отм. -213 м, глубина до 45 м). Это звание, весьма сходное с грабеном Мертвого моря, расположено вне сечений соленосной структуры (в интервале между двумя соленосными ветвями), т.е. вне источника материнских солей, и его осадочное выполнение практически бессолевое, а поверхностный водоем – пресноводный. С другой стороны, соли не обнаружены и на участках Левантской зоны, которые хотя и пересекают заведомо соленосную Пальмирскую ветвь, но находятся в условиях преобладающе сжимающих напряжений¹, т.е. при отсутствии щели растяжения, а значит и места для перетока солей.

Наличие двух (а иногда и больше) уровней соленосности свойственно не только району Мертвого моря, но и другим солянокупольным бассейнам Мексиканско-Средиземноморского соленосного суперпояса, что иллюстрирует рис. 4. В большинстве из них присутствуют те же два уровня – триасово-юрский и неогеновый, причем для более молодого устанавливаются признаки аллохтонной природы. В Персидском солянокупольном бассейне к ним добавляется еще более древний и столь же масштабный уровень – венд-кембрийский² (былое наличие которого и его реликтов не исключено и в других бассейнах суперпояса).

Аллохтонные уровни соленосности, возникающие за счет масштабного перетекания более древних солей и их субаквального растекания, образуют пластообразные соляные тела (нередко теряющие связи с материнскими толщами) во многих солянокупольных бассейнах мира (Мексиканском, Североморском, Средиземноморском и др.). Принципиальная схема их формирования приведена на рис. 6. Их аллохтонная природа (без всякой связи с испарительными процессами) в последние десятилетия надежно установлена в Мексиканском солянокупольном бассейне. Подробнее эти процессы были охарактеризованы и проиллюстрированы нами в работах³.

Генезис рассолов Мертвого моря: почему море соленое?

Глубокая впадина Мертвого моря представляет собой не что иное, как...обнажение на земной поверхности рассолов подземной гидросферы.

А.Ф. Горбов⁴

Солевой состав рассолов Мертвого моря формируют три главных источника: воды реки Иордан (основной участник поверхностного питания) и два типа высококонцентрированных рассолов (участники подземного стока) – рассолы выщелачивания вмещающих солей, преимущественно инфильтрационные нисходяще-латеральные, и глубинные восходящие рассолы (рис. 7). Гидрохимические показатели каждого из этих источников были рассмотрены нами ранее⁵. Относительную роль этих источников в образовании рассолов Мертвого моря исследователи оценивают по-разному. Одни⁶ придают существенное значение высококонцентрированным рассолам, довольно многие – водам реки Иордан. Ориентировочные количественные соотношения в годовом водном и солевом балансе главных участников питания отражены на рис. 7.

В водном балансе (в его приходной статье) основную роль (до 90% и более) до последнего времени играл речной сток (1,25 млрд. м³/год); предполагаемый общий вклад двух рассольных источников составлял до 10% (порядка 0,15 млрд. м³/год). В солевом же балансе из-за очень большой разницы минерализаций (~1:400) соотношение совсем иное: вклад речного стока (минерализация до 1 г/л) не превышает 2–3%, определяющим же несомненно является суммарный вклад двух типов высококонцентрированных (до 400 г/л и более) рассолов. Из них наиболее значим (до 60–80%) вклад глубинных поступлений.

Поскольку количественные оценки солевого питания Мертвого моря достаточно ориентировочны, остановимся на некоторых дополнительных, прямых и косвенных показателях, характеризующих вероятную роль каждого из источников.

Первый источник – воды р. Иордан. Ограниченность их вклада в солевой баланс рассолов Мертвого моря подтверждают многие факты, близкие тем, которые противоречат «речной» версии формирования и солей, vyplняющих грабен. Главные из них – гидрохимические характеристики вод реки Иордан, резко отличающиеся от присущих рассолам⁷: очень малое общее содержание в них солей, иной гидрохимический тип и иной макро- и микрокомпонентный состав (в частности, ничтожные содержания К и Вг, которыми уникально обогащены рассолы Мертвого моря). И никакие процессы сгущения и метаморфизации приносимых речных вод не способны создать в условиях рассматриваемого водоема ни наблюдаемый ныне ионно-солевой состав его рассолов, ни особенно высочайшие (уникальные) «избыточные» концентрации названных элементов. Кроме того, весьма важно, что мутные воды р. Иордан принесут (и обязательно осадят) ко времени их предполагаемого сгущения до наблюдаемых в Мертвом море концентраций такое количество терригенного материала, масса которого не менее чем на порядок превысит массу накопившихся солей, а мощность составит десятки и сотни метров.

Ряд фактов свидетельствует скорее в пользу распределяющего влияния вод реки Иордан на рассолы Мертвого моря. Это, в частности, наблюдаемый характер вертикального и латерального распределения солености в рас-

¹ Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамян Ж. Деформации запада Аравийской плиты...

² Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 1. «Соленосное чудо» планеты, рис. 1

³ Беленицкая Г.А. Природные соляно-нафтидные гиганты; Она же.. Природные соляно-нафтидные узлы – глобальные центры надежд и угроз (на примере бассейна Мексиканского залива). Пространство и Время. 2012. №3(9). С. 193–207.

⁴ Джиноридзе Н.М., Гемп С.Д., Горбов А.Ф., Раевский В.И. Указ. соч. С. 292.

⁵ Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 1. «Соленосное чудо» планеты, таблица

⁶ Zak I., Bentor Y.K. Same new data on the salt deposits of the Dead Sea area, Israel. Unesco, 1972. Geol. of saline deposits. Proc. Hanover Symp., 1968. (Earth sciences, 7). P. 137–144; Bentor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age. Geochemica et Cosmochimica Acta. 1961. V. 25. P. 239–260; Neev D., Emery K.O. Op. cit.; Bentor Y.K. Salt deposits...

⁷ Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 1. «Соленосное чудо» планеты.

солах¹: ее минимум на участках, прилежащих к месту притока пресных вод р. Иордан, и в поверхностном слое, сменяющийся устойчивым максимумом в мощной толще рассолов нижней зоны. Кроме того, положение общего максимума солености в северном глубоководном бассейне, а не в южном, отражает латеральную гидрохимическую зональность, обратную той, которая, в соответствии с эвапоритовой моделью, должна возникнуть при последовательном сгущении рассолов в направлении от места питания к кутовой области.

Второй источник – рассолы выщелачивания солей свиты Седом. Об их подчиненном значении также свидетельствуют прежде всего отличия гидрохимических характеристик от показателей рассолов Мертвого моря: относительно более низкая минерализация, «чисто» хлоридно-натриевый состав, бедность K, Mg, Ca, Br и другими макро- и микрокомпонентами, высокие значения хлор-бромного коэффициента и др. (рис. 8). При этом интенсивность развития процессов растворения солей свиты Седом лимитирует ограниченность непосредственного «доступа» вод выщелачивания к их поверхности, поскольку толща солей перекрыта комплексом слабо соленосных плейстоценовых отложений. А кроме того, соли, как правило, сами создают себе защиту в виде своеобразных рассольных «чехлов» из рассолов выщелачивания. Эти рассолы, по мере насыщения солью, становятся значительно тяжелее, чем исходные воды, и локализуются над поверхностью «соляного зеркала»².

Третий источник – глубинные восходящие рассолы. Их многочисленные наземные очаги разгрузки – восходящие источники, часто термальные и сероводородные, хорошо известны. О субаквальных восходящих разгрузках рассолов и сопряженных с ними углеводородов сведения более ограниченные, однако их роль несомненна. Одна из важных предпосылок для этого – положение напорного уровня глубинных рассолов: гипсометрически выше поверхности рассолов Мертвого моря (почти на 25 м) и намного (более 400 м) выше отметок его дна³. Обладая гидравлическим напором, эти рассолы стремятся перемещаться вверх и разгружаться на поверхность Земли или на дно акваторий. Показательно, что для двух уровней рассолов – напорных восходящих глубинных и поверхностных озерных – установлена согласованность изменений во времени.

Главное свидетельство определяющего вклада глубинных рассолов – максимальная сопоставимость их гидрохимических характеристик с показателями рассолов Мертвого моря. Среди них наиболее информативны: высочайшая и близкая по величине минерализация тех и других; одинаковые хлор-кальциевый тип и хлоридный Mg-Na-Ca состав; чрезвычайно высокие (до 4–5 и более г/л) содержания Br; низкие (41–43) значения Cl/Br-коэффициента (рис. 8). Именно интенсивному подтоку глубинных рассолов, максимальному в самых глубоких слоях рассольной толщи (в сочетании с одновременным разбавляющим влиянием в верхней поверхностной зоне пресных и богатых кислородом вод р. Иордан), по-видимому обязаны и вертикальная стратификация этой толщи и ее латеральная зональность⁴. Так что весь комплекс характеристик рассолов Мертвого моря в наибольшей степени соответствует показателям глубинных восходящих рассолов, резко отличаясь от таковых как вод поверхностного питания, а также и рассолов выщелачивания.

Что касается источника самих глубинных восходящих рассолов, то изложенные представления о строении и происхождении рассольно-соляного выполнения грабена Мертвого моря позволяют рассматривать их как вполне закономерный член его соленосной системы. Устойчивая сопряженность рассолов с углеводородами, подтверждая их глубинность, является одновременно серьезным аргументом в пользу высоких перспектив нефтегазоносности этой системы.

На рис. 7 показан еще один количественно незначительный участник водно-солевого баланса – «атмосферные осадки», в котором условно объединены собственно водные осадки (в основном дождь) и солевая пыль. Первый играет некоторую роль в водном питании, а второй вносит небольшой вклад в солевой баланс.

Итак, если в водном питании Мертвого моря основную роль, во всяком случае до последнего времени, играл поверхностный сток пресных речных вод, то в ионно-солевом питании и в формировании их состава безусловно доминировала разгрузка высококонцентрированных рассолов – глубинных восходящих и, в меньшей мере, выщелачивания, при весьма ограниченном вкладе речного стока.

Сухой и жаркий климат и высокая испаряемость несомненно дополнительно способствуют более быстрому росту минерализации рассолов любого исходного генезиса, ослабляя разбавляющее влияние пресных вод р. Иордан.

История формирования солей, рассолов и диапиров Мертвого моря: хроника событий

Соль...вовлечена в вечный круговорот, сохраняя при этом практически неизменной общую массу... В геологическом цикле галокинез – это лишь эпизодически повторяющаяся фаза в эволюции соли.

Ф. Трусхейм⁵

В геологической истории солей и рассолов Мертвого моря (и в их предыстории) намечаются три крупных этапа.

1. Поздний триас – поздняя юра (~220–150 млн лет назад). Формирование мощной толщи «материнских» солей в Северо-Синайско-Пальмирской внутриплитной палеорифтогенной структуре (элементе Мексиканско-Средиземноморского палеорифтогенного соленосного суперпояса).

2. Поздняя юра – начало плиоцена (150–2,5 млн лет назад). Деформации сжатия в осадочном выполнении этой структуры, осложнение солей солянокупольными структурами, участие солей в структурообразовании осадочного чехла и нефтегазоаккумуляции.

3. Поздний плиоцен – квартер (2,5 млн лет назад – настоящее время). Активизация Левантской сдвиговой зоны; образование в позднеплиоцен-раннеплейстоценовое время глубокой сдвигово-раздвиговой «щели» – грабена

¹ Там же.

² Зайцев И.К., Толстихин Н.И. Закономерности распространения и формирования минеральных подземных вод. М.: Недра. 1972. 280 с.

³ Shalev E., Lyakhovsky V., Yechieli Y. Is advective heat transport significant at the Dead Sea basin? Geofluids. 2007. №7. P. 292–300.

⁴ Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 1. «Соленосное чудо» планеты.

⁵ Трусхейм Ф. Галокинез // Структурная геология и тектоника плит. В 3 т. Т. 1 / Под ред. К. Сейферта. М.: Мир. 1990. С. 70–80.

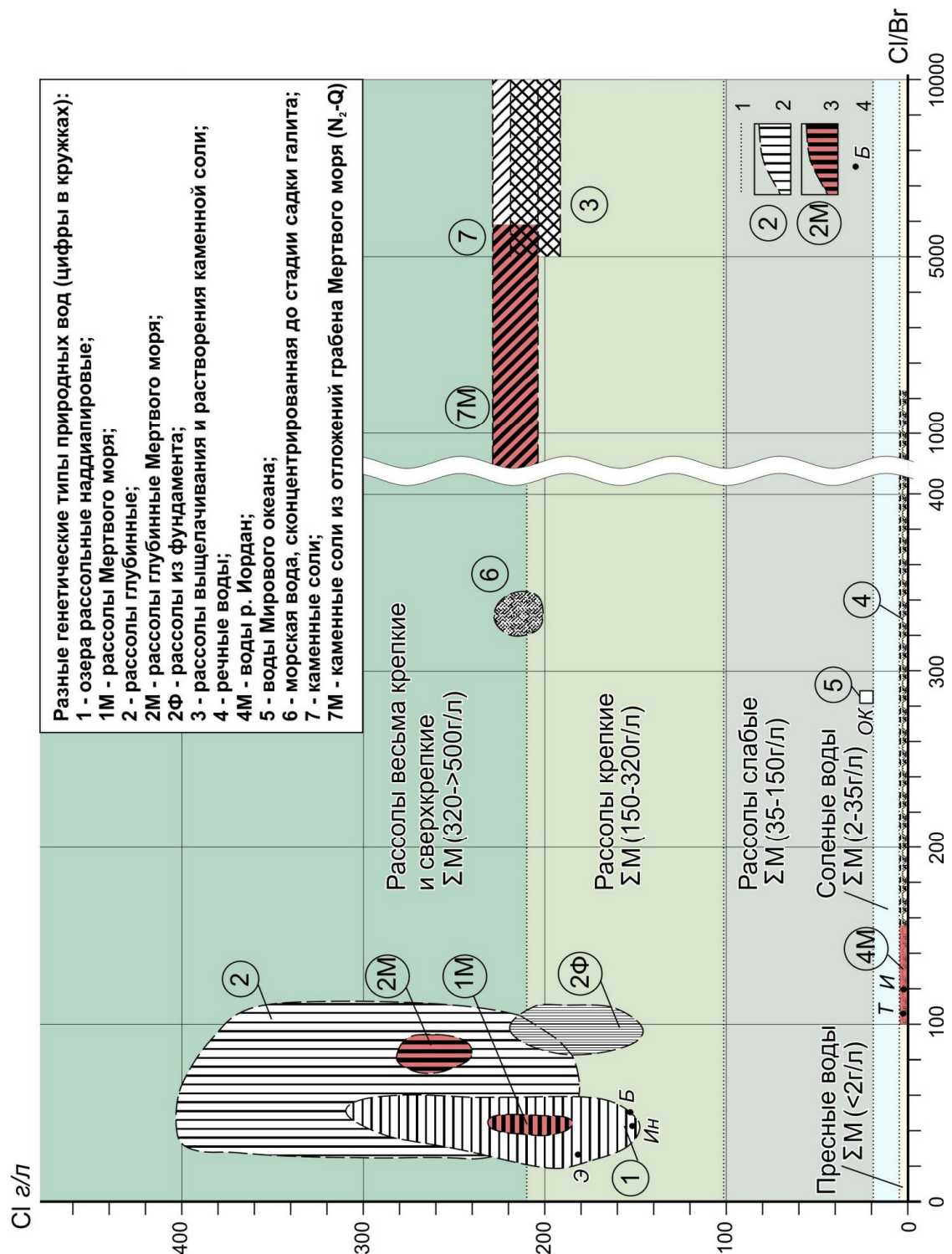


Рис. 8. Поля преобладающих значений Cl/Br -коэффициентов, содержащих хлора и общей минерализации разных генетических типов природных вод и соотношение с ними показателей Мертвого моря. Составила Г.А. Беленицкая. Обобщение по опубликованным материалам.

1 – границы областей распространения разных групп природных вод, выделенных по степени минерализации¹; 2, 3 – поля распространения природных вод разных генетических типов (показаны разными штриховками или крапом и сопровождаются индексом в кружках); 2 – обобщенные (для разных регионов мира), 3 – для региона Мертвого моря; 4 – конкретные показатели отдельных объектов региона Мертвого моря (И-р. Иордан у Иерихона, Т – оз. Тивериадское) и Прикаспийской впадины (надшапировые озера: Э – Эльтон, Б – Баскунчак, Ин – Индер).

¹ Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region.

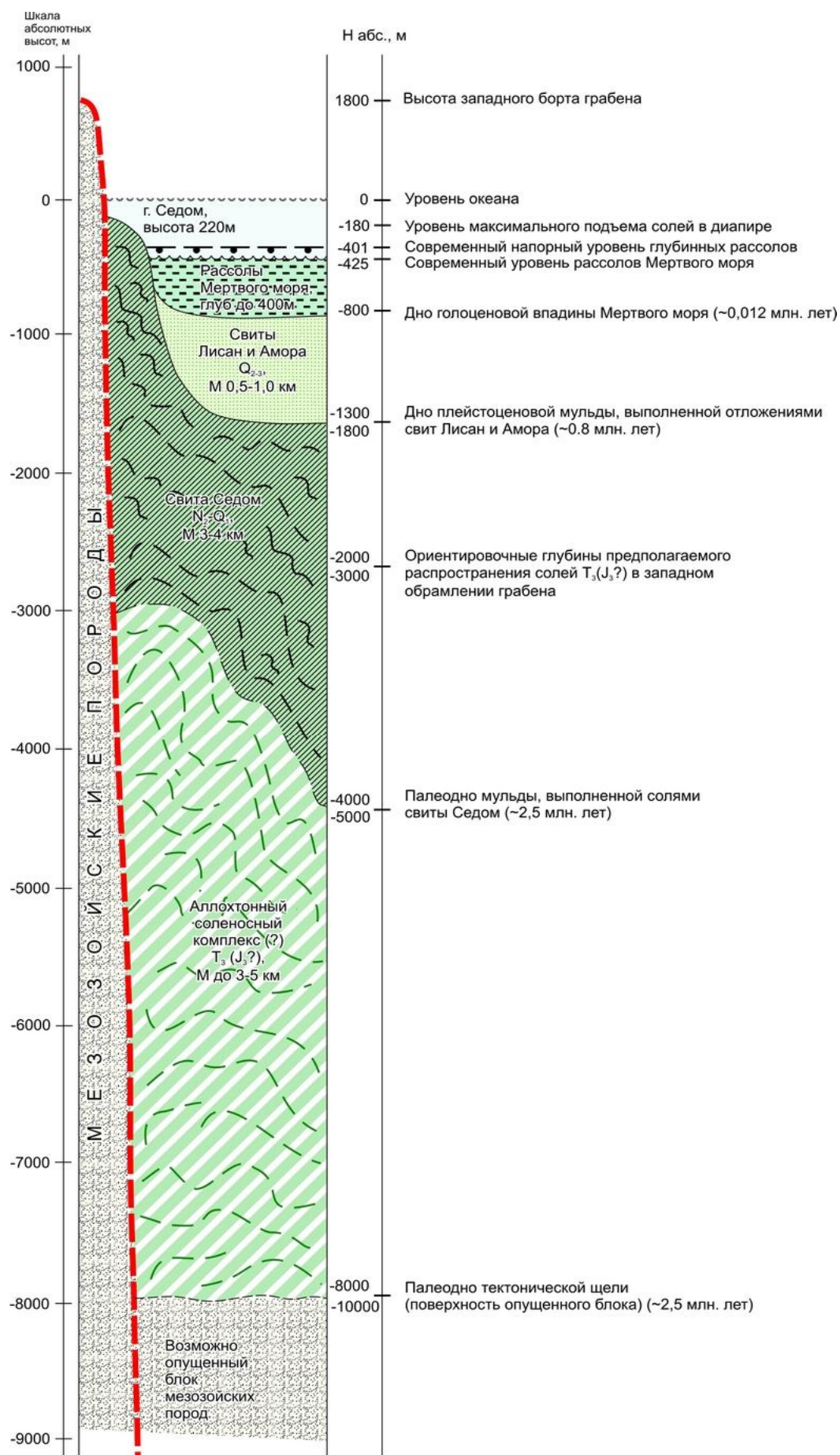


Рис. 9. Ключевые уровни соленосной структуры Мертвого моря. Составила Г.А. Беленицкая.

Мертвого моря, западное ограничение которого совпало со срезом Северо-Синайской соленосной структуры. Щель растяжения и отвечающий ей глубочайший провал земной коры стали естественным местом разгрузки и перетока солей, рассолов и углеводородов из среза Северо-Синайской структуры, положив основу мощному накоплению в этом провале солей и рассолов, продолжавшемуся, с той или иной интенсивностью, и в последующее время. Показательно, что в западном обрамлении Левантской зоны в это же время фиксируется масштабное проявление грязевулканической активности с образованием регионально развитого мощного комплекса грязевулканических брекчий (формации Хатрурим) – безусловного свидетельства высокой энергетической напряженности недр во всем регионе и их интенсивной взрывной разгрузки. Немного раньше, а частично и одновременно с этими событиями, предполагается проникновение в грабен Мертвого моря с севера через узкий залив морских вод, связанное с плиоценовой трансгрессией в Средиземном палеоморе.

Два первых этапа составили предысторию солей Мертвого моря, а третий – собственно историю. Рассмотрим немного подробнее последовательность рассольно-соляных событий в течение третьего этапа, выделив в нем подэтапы. //Ключевые уровни разреза, отвечающие этому этапу, показаны на рис. 9./

Поздний плиоцен-ранний плейстоцен (2,5–0,8 млн лет назад). Разгрузка-перетекание в образовавшееся глубокое (до 6–8 км или даже больше) тектоническое «зияние» с резко пониженным давлением находящихся под напором триасово-юрских солей, рассолов и углеводородов. Заполнение-заплывание «зияния» аллохтонными существенно соляными массами, возможно содержащими значительное количество захваченного несоляного материала. Нарастание сверху аллохтонных соляных масс вновь образующимися хемогенными (рассольно-осадочными) соленосными отложениями. Главным источником последних в большой мере служили высококонцентрированные рассолы – разгружавшиеся вместе с солями и образующиеся при выщелачивании перемещенных солей. Соленаконпление этого типа, начавшись одновременно с иммиграцией солей, происходило, по-видимому, и после ее завершения, сыграв значительную роль в формировании верхних частей свиты Седом. Поверхность солей была, вероятно, неровной, максимальные величины ее высот (и мощностей соляного тела) локализовались на участках, прижатых к источнику внедрения – к западному борту, а минимальные – к восточному. В дальнейшем это могло способствовать процессам унаследованного перераспределения соляных масс.

Средний-поздний плейстоцен (0,8–0,012 млн лет назад). После предполагаемой недолгой связи через пролив с морским бассейном в позднем плиоцене в течение всего последующего времени грабену Мертвого моря отвечал бессточный озерный водоем меняющейся конфигурации и глубины. Неравномерное перераспределение соляных масс внутри грабеновой структуры под действием тектонических и гравитационных напряжений сопровождалось ростом соляных поднятий и проседанием компенсационных впадин второго порядка, которые и сформировали приповерхностную структуру соляного тела. Главные из них: три неравномерно растущие соляные поднятия-диапира и крупная прогибающаяся депрессия, занимаемая сначала озерами-предшественниками Мертвого моря, а затем и современным глубоким рассольным водоемом. Росту диапиров сопутствовало образование кепроков и развитие соляного карста, а прогибанию депрессий – накопление озерных терригенно-карбонатных соленосных отложений при участии продуктов речного стока, разрушения и выщелачивания поднятых частей соляных куполов и их кепроков, а также глубинных рассолов.

Голоцен (0,012 млн лет назад – настоящее время). Оформление современной озерной рассолоносной впадины Мертвого моря на фоне продолжения роста соляных структур и изменения конфигурации прогибов, отражавших изменения рельефа поверхности соляных масс. Одним из следствий изменений конфигурации и объемов наддиапировых водоемов и сопряженных вариаций положения напорных уровней подземных рассолов были колебания уровня Мертвого моря-озера и его предшественников, которые являлись наглядным отражением активной «жизни» соленосных недр.

Современное Мертвое море представляет собой модель глубоководного озерного рассольного бассейна, заполняющего наддиапировую компенсационно-тектоническую котловину. Его весьма крепкие рассолы, содержащие высочайшие концентрации и большие запасы разнообразных макро- и микроэлементов (калия, магния, брома и др.), связаны с разгрузкой восходящих рассолов из подстилающих соленосных отложений и, в меньшей мере, – с выщелачиванием солей из близповерхностных частей соляных тел. Рассолоносная впадина Мертвого моря в настоящее время значительно недокомпенсирована осадками, особенно сильно в северной наиболее прогнута части, где ее дно находится на 750–800 м ниже уровня океана, а уровень рассолов, заполняющих депрессию, располагается более чем на 425 м ниже уровня океана и продолжает понижаться. Наблюдаемое ныне снижение уровня, по-видимому, является следствием не только техногенных воздействий, но и проявлением естественно-природных циклических колебаний.

Итак, грабен Мертвого моря можно рассматривать как длительно действующий локализованный очаг рассольно-соляной разгрузки недр. В формировании рассолов, солей, диапиров Мертвого моря на всех трех подэтапах его эволюции определяющую роль играли (и играют поныне) латеральные и восходящие перемещения и разгрузки погребенных рассольно-соляных масс. При этом на первом доминирующая роль принадлежала внедрениям солей, а на двух следующих – разгрузке рассолов. Значительную роль могли играть также разгрузки углеводородно-рассольно-соляных смесей, в том числе взрывного типа. Тектоническая активность неизменно служила (и служит) регулятором интенсивности «жизни» солей и рассолов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беленицкая Г.А. Галогенсодержащие бассейны // Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов / Под ред. А.Д. Щеглова. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 1998. С. 220–320.
Belenitskaya G.A. (1998). Galogensoderzhashchie basseiny. In: Litogeodinamika i mineragiya osadochnykh basseinov. Pod red. A.D. Shcheglova. Izd-vo VSEGEI, S-Peterburg. 1998. Pp. 220–320.
2. Беленицкая Г.А.. Природные соляно-нафтидные узлы – глобальные центры надежд и угроз (на примере бассейна Мексиканского залива) // Пространство и Время. 2012. № 3(9). С. 193–207.

- Belenitskaya G.A. (2012). Prirodnye solyano-naftidnye uzly – global'nye tsentry nadezhd i ugroz (na primere basseina Meksikanskogo zaliva). *Prostranstvo i Vremya*. N 3(9). Pp. 193–207.
3. Беленицкая Г.А. Природные соляно-нафтидные гиганты // *Природа*. 2013. № 1. С. 11–23.
Belenitskaya G.A. (2013). Prirodnye solyano-naftidnye giganty. *Priroda*. N 1. Pp. 11–23.
 4. Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 1. «Соленосное чудо» планеты // *Пространство и Время*. 2013. № 2 (12). С. 159–172.
Belenitskaya G.A. (2013). Mertvov more: geologiya, proiskhozhdenie, mify. Chast' 1. «Solenosnoe chudo» planety. *Prostranstvo i Vremya*. N 2 (12). Pp. 159–172.
 5. Гилат А. Содом и Гоморра: гидротермальные взрывы и самовозгорание горючих газов, вызванные землетрясением? // *Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь*. М.: ГЕОС. 2010. С. 112–114.
Gilat A. (2010). Sodom i Gomorra: gidrotermal'nye vzryvy i samovozgoranie goryuchikh gazov, vyzvannye zemle-tryaseniem? In: *Degazatsiya Zemli: geotektonika, geodinamika, geoflyuidy; nef't' i gaz; uglevodorody i zhizn'*. GEOS, Moskva. 2010. Pp. 112–114.
 6. Джиноридзе Н.М., Гемп С.Д., Горбов А.Ф., Раевский В.И. Закономерности размещения и критерии поисков калийных солей СССР. Тбилиси: КИМС. 1980. 374 с.
Dzhinoridze N.M., Gemp S.D., Gorbov A.F., Raevskii V.I. (1980). *Zakonomernosti razmeshcheniya i kriterii poiskov kaliinykh solei SSSR*. KIMS, Tbilisi. 374 p.
 7. Зайцев И.К., Толстихин Н.И. Закономерности распространения и формирования минеральных подземных вод. М.: Недра. 1972. 280 с.
Zaitsev I.K., Tolstikhin N.I. (1972). *Zakonomernosti rasprostraneniya i formirovaniya mineral'nykh podzemnykh vod*. Nedra. Moskva. 280 p.
 8. Иордан // Википедия. 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: ru.wikipedia.org/wiki/Иордан
Iordan. Vikipediya. 2013. URL: ru.wikipedia.org/wiki/Иордан
 9. Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамян Ж. Деформации запада Аравийской плиты как результат сдвиговых перемещений по Левантскому разлому // *Геотектоника*. 1994. № 3. С. 52–65
Kopp M.L., Leonov Yu.G., Adzhamyann Zh. (1994). Deformatsii zapada Araviiskoi plity kak rezul'tat sdvigovykh peremeshchenii po Levantskomu razlomu. *Geotektonika*. N 3. Pp. 52–65
 10. Обстановки осадконакопления и фации / Под ред. Х. Рединга. М.: Мир. 1990. Т. 2. 381 с.
Obstanovki osadkonakopleniya i fatsii. Pod red. Kh. Redinga. Mir, Mip. 1990. T. 2. 381 s.
 11. Петриченко О.И. Физико-химические условия осадкообразования в древних солеродных бассейнах. Киев: Наукова думка, 1988. 128 с.
Petrichenko O.I. (1988). *Fiziko-khimicheskie usloviya osadkoobrazovaniya v drevnikh solerodnykh basseynakh*. Naukova dumka, Kiev. 128 p.
 12. Рауп О.Б. Смешение рассолов: еще один механизм образования месторождений осадочных сульфатов и хлоридов // *I Международный геохимический конгресс. Доклады / Отв. ред. А.П. Виноградов. Т. IV. Кн. 1. М., 1973. С. 369–396.*
Raup O.B. (1973). Smeshenie rassolov: eshche odin mekhanizm obrazovaniya mestorozhdenii osadochnykh sul'fatov i khloridov. In: *I Mezhdunarodnyi geokhimicheskii kongress. Doklady. Otv. red. A.P. Vinogradov. T. IV. Kn. 1. Moskva, 1973. Pp. 369–396.*
 13. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2 т. Т. 1. М.: Мир, 1987. 560 с.
Redder E. (1987). *Flyuidnye vklucheniya v mineralakh*. V 2 t. T. 1. Mir, Moskva. 560 p.
 14. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2 т. Т. 2. М.: Мир, 1987. 632 с.
Redder E. (1987). *Flyuidnye vklucheniya v mineralakh*. V 2 t. T. 2. Mir, Mir. 632 p.
 15. Трусхейм Ф. Галокинез // *Структурная геология и тектоника плит*. В 3 т. Т. 1 / Под ред. К. Сейферта. М.: Мир. 1990. С. 70–80.
Truskhheim F. (1990). Galokinez. In: *Strukturnaya geologiya i tektonika plit*. V 3 t. T. 1. Pod red. K.Seiferta. Mir, Moskva. 1990. Pp. 70–80.
 16. Фивег М.П. Как образуются залежи каменной и калийной солей / Отв. ред. М.А.Жарков. Новосибирск: Наука. 1983. 80 с.
Fiveg M.P. (1983). *Kak obrazuyutsya zalezhi kamennoi i kaliinoi solei*. Otv. red. M.A.Zharkov. Nauka, Novosibirsk. 80 p.
 17. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. М.: Недра. Вып.1. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. 1971. 548 с.
Khain V.E. (1971). *Regional'naya geotektonika*. Vyp.1. Severnaya i Yuzhnaya Amerika, Antarktida i Afrika. Nedra, Moskva. 548 p.
 18. Atlas of Israel: cartography, physical geography, human and economic geography, history. Jerusalem: Survey of Israel, Ministry of Labour, and Amsterdam, Elsevier. 1970.
 19. Belenitskaya G.A. Distribution pattern of hydrogen sulphide-bearing gas. *Petroleum Geoscience*, London, 2000. V. 6. N 2. P. 175–187.
 20. Bentor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 1961. V. 25. P. 239–260.
 21. Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region. *The Geological Soc. of America. Spec.Paper*. 1968. P. 139-156.
 22. Gilat A. Hydrothermal activity and hidro-explosions as a cfuse of natural combustion and pyrolysis of bituminous rocks: the case of Pliocene metamorphism in Israel (Haturim formation). *Geol. Surv. Israel. Curr. Res*. 1998. V. 11. P. 96–102.
 23. Neev D., Emery K.O. The Dead Sea depositional processes and environments of evaporates. Jerusalem. 1967. 148 p.
 24. Omara S. Diapiric structures in Egypt and Syria. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol*. 1964. V. 48. №7. P. 1116-1125.
 25. Shalev E., Lyakhovsky V., Yechieli Y. Is advective heat transport significant at the Dead Sea basin? *Geofluids*. 2007. №7. P. 292–300.
 26. Zak I., Bentor Y.K. Same new data on the salt deposits of the Dead Sea area, Israel. UNESCO, 1972. *Geol. of saline deposits. Proc. Hanover Symp*. 1968. (Earth sciences, 7). P. 137–144.