

УДК 553.63:553.776(267.33)

**Беленицкая Г.А.**

## **Мертвое море: геология, происхождение, мифы** **Часть 1. «Соленосное чудо» планеты<sup>1</sup>**

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, ankudivovo@mail.ru

Некоторые необычные особенности Мертвого моря и связанные с ними загадки и легенды автор рассмотрел с позиций геолога, занимающегося проблемами солей и связанного с ними разнообразного природного «соляного сообщества», с учетом установленных закономерностей строения и формирования «соляного сообщества», своеобразия его динамических и морфологических природных проявлений. Предложено авторское видение их генетической природы, возможных причин, условий образования, специфики проявлений. В части 1 автор обсудил ключевые черты геологии соленосной структуры Мертвого моря (структурно-тектоническая ситуация, соленосность недр и их флюидодинамическая напряженность), охарактеризовал разнообразные специфические особенности Мертвого моря, многие из которых отражены в его названиях.

**Ключевые слова:** Мертвое море, соли, рассолы, соляные диапиры, флюидодинамика, очаг разгрузки, происхождение солей и рассолов, уровни рассолов, «содомская катастрофа», Левантский сдвиг, Синайско-Пальмирская палеорифтовая зона.

**Это наиболее поражающий провал в земной коре, выполненный самым мощным слоем высококонцентрированных рассолов.**

**Виллис Бейли<sup>2</sup>**

### **Введение**

**Соли Земли.** Недр Земли чрезвычайно богаты солями и рассолами. Соленосные осадочные бассейны, т.е. осадочно-породные бассейны, вмещающие мощные толщи солей, широко распространены в стратифере – в пределах всех континентов, морей, океанических окраин, отсутствуя лишь на абиссальных пространствах собственно океанов. Соленосна почти половина (более 110) всех относительно крупных осадочных бассейнов мира. По масштабам соленосности среди них резко выделяются около 20 гигантов, каждый из которых содержит свыше 100 тыс. км<sup>3</sup> солей каждый, из них 14 – свыше 500 тыс. км<sup>3</sup>. Четыре супергиганта – Прикаспийский, Мексиканского залива, Восточно-Сибирский и Средиземноморский – вмещают массы солей порядка 1,5–2,5 млн. км<sup>3</sup>. Общий же объем солей во всех крупных бассейнах близок к 25 млн. куб. км<sup>3</sup>. Близок и порядок объемов связанных с ними высококонцентрированных подземных рассолов. А еще примерно такая же масса солей находится в водной оболочке Земли – в водах (рассолах) Мирового океана. Так что, пожалуй, не будет ошибкой назвать и саму нашу Землю «Планетой солей».

Мир природных солей разнообразен. Это и собственно соли – каменная (галит, NaCl), тесно ассоциирующиеся с ней калийно-магниевые и некоторые более редкие, а также их многочисленные спутники – бром, бор, сера самородная, высококонцентрированные рассолы (вплоть до сверхкрепких – до 500–600 г/л и более), а еще углеводородные газы, нефти, конденсаты, сероводород (и в рассолах и в газах). Все эти столь разные геологические образования, локализуясь вокруг солей, составляют взаимосвязанное природное «галофильное» (солелюбивое: *гало* – соль, *фил* – любить) сообщество<sup>4</sup>.

Характерная и очень важная черта многих соленосных бассейнов – осложненность солянокупольной тектоники. Более половины крупных соленосных бассейнов мира (а среди крупнейших – подавляющее большинство) на преобладающей части площади осложнены интенсивной солянокупольной тектоникой и именуются солянокупольными. В солянокупольных структурах заключено не менее 50–60% всей массы солей. Особенно масштабно и разнообразно соли, а вместе с ними и все другие представители соляного сообщества, распространены в гигантском

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 10-05-00555а, 12-05-00513-Д-с.

<sup>2</sup> Бейли В. Проблема Мертвого моря (рифтовая или рамповая долина). Пер. с англ. / Под ред. Н.С. Шатского. Л.: НКТП. 1934. 56 с.

<sup>3</sup> Беленицкая Г.А. Соляная тектоника // Энциклопедический справочник «Планета Земля» / Гл. ред. Л.И. Красный. Т. 2: Тектоника и геодинамика. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2004. С. 354–375; 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.

<sup>4</sup> Беленицкая Г.А. Галогенсодержащие бассейны // Литогеодиника и минерагения осадочных бассейнов / Под ред. А.Д. Щеглова. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. С. 220–320; Она же. Соленосные осадочные бассейны. Литолого-фациальный, геодинамический и минерагенический анализ. Осадочные бассейны России. Вып. 4. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000, 72 с.

Средиземноморском соляном суперпоясе, контролируемом двумя молодыми неогеодинамическими трансконтинентальными поясами – субширотным Средиземноморско-Альпийским коллизионным и субмеридиональным Афро-Аравийским внутри-межконтинентально-рифтовым. Оба в целом наследуют более древние геодинамические и соленосные палеопояса. В пределах этих двух поясов, максимумно в области их пересечения, сосредоточены солянокупольные гиганты и супергиганты: Западно- и Восточно-Средиземноморские, Персидского залива, Суэцко-Красноморский и ряд более мелких – Мертвого моря, Пальмирский, Данакильский и др. Вместе эти бассейны (кроме смежного с ними Западно-Средиземноморского) образуют своеобразное Циркумаравийское соляное кольцо, связанное с окраинами малой Аравийской плиты, с ее деструкцией, перемещениями, столкновениями (рис. 1). Каждый из бассейнов характеризуется широчайшим распространением всех представителей соляного сообщества – и глубоко в недрах, и в составе восходящих разгрузок, и в разнообразных поверхностных проявлениях.

Соленосный (и солянокупольный) бассейн грабена Мертвого моря, которому посвящено данное сообщение, составляет лишь небольшую по площади участок Циркумаравийского соляного<sup>1</sup> кольца. Большая часть его поверхности погружена под рассолы Мертвого моря (озера), уровень которого находится на максимальных для открытых водоемов глубинах – более чем на 400 м ниже уровня океана. Будучи по площади самым «маленьким» солянокупольным бассейном Средиземноморского пояса, он представляет собой, вместе с тем, весьма мощный нафто-рассольно-соляной «узел». Его по праву можно отнести к числу наиболее интересных и интригующих солянокупольных объектов мира – средоточию множества загадок, легенд и тайн – научных, культурных, житейских, библейских. Не случайно это «соленосное чудо» вошло в число 14-ти финалистов международного интернет-голосования при выборе семи чудес природы (nauka21vek.ru, 23.11.2010).

В проблеме природы соленосности Мертвого моря можно выделить два взаимосвязанных аспекта. Один – генезис его знаменитых поверхностных рассолов, второй – происхождение и условия образования мощных соляных масс, выполняющих грабен и образующих рассолоносную «чашу» – ее дно и борта. Хотя оба аспекта в разной мере освещены в геологической литературе, многие вопросы остаются не решенными или спорными, допуская возможность иных интерпретаций.

В статье мы попытаемся взглянуть на некоторые необычные, хотя в своем большинстве широко известные особенности Мертвого моря, на тайны его происхождения и жизни глазами геолога, долгие годы занимавшегося проблемами солей и соляных парагенезов – породных и рудных, твердых, жидких и газообразных<sup>2</sup>. Общая цель статьи – обсудить эти особенности и связанные с ними загадки и легенды Мертвого моря с позиций уже установленных закономерностей строения и формирования «соляного сообщества», своеобразия его химических, кинетических и морфологических природных проявлений, а также предложить свое видение их генетической природы, возможных причин и условий образования.

Первая часть посвящена вопросам геологического строения, флюидодинамики грабеновой структуры Мертвого моря и описанию знаменитых «необычных» особенностей рассольного водоема. Вторая – проблемам генезиса и истории развития солей, диапиров и рассолов Мертвого моря. В третьей части мы рассмотрим разнообразные проявления активной жизни рассольно-соляных недр и их отражение в поверхностной геологической среде, а также в мифах и легендах.

### Ключевые черты геологии и флюидодинамики грабена Мертвого моря

**Структурно-тектоническая ситуация.** Соленосный бассейн Мертвого моря, локализованный в одноименном глубочайшем грабене, представляет собой мощное тектонически ограниченное тело, заполняющее этот грабен и почти целиком погруженное под рассолы Мертвого моря (рис. 2). Тектоническая природа и происхождение структуры Мертвого моря и его глубоководной рассолоносной впадины долгие годы составляли суть «проблемы Мертвого моря»<sup>3</sup>. И хотя в настоящее время решение многих вопросов в целом как будто найдено, интерес к проблеме не ослабевает. Главные черты строения и эволюции структуры Мертвого моря ныне рисуются следующим образом<sup>4</sup>.

Заложение, развитие и выполнение грабеновой структуры связано с взаимодействием двух крупнейших структурно-тектонических зон, на пересечении которых она находится (рис. 3). Одна, субмеридиональная – сдвиговая Левантская (другие ее наименования – Левантийская, Сирийско-Африканская, Мертвого моря и др.) – представляет северный отрезок молодой трансконтинентальной Афро-Аравийской рифтовой системы. Вторая, общего северо-восточного простирания – Северо-Синайско-Пальмирская внутриплитная палеорифтогенная (авлакогенная) складчатая, состоит из двух ветвей, разделенных и разъединенных Левантским сдвигом: юго-западной – Северо-Синайской, и северо-восточной – Пальмирской, смещенной по сдвигу относительно первой более чем на 100 км к северу.

Структура Мертвого моря, являясь элементом Левантской сдвиговой зоны, целиком локализуется в одном из ее

<sup>1</sup> Беленицкая Г.А. Минерагеня соленосных бассейнов мира // Энциклопедический справочник «Планета Земля». Гл. ред. Л.И. Красный. Т. 1: Минерагеня. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2008. Кн. 1. С. 165–189.

<sup>2</sup> Бейли В. Указ. соч.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Neev D., Emery K.O. The Dead Sea depositional processes and environments of evaporates. Jerusalem. 1967. 148 p.; Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region. The Geological Soc. of America. Spec. Paper. 1968. Pp. 139–156; Пикар Л. Некоторые соображения о системе грабенов Леванта // Система рифтов Земли. Пер. с англ. М.: Мир. 1970. С. 26–34; Atlas of Israel: cartography, physical geography, human and economic geography, history. Jerusalem: Survey of Israel, Ministry of Labor and Amsterdam, Elsevier. (English). 1970; Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Вып. 1. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. М., Недра. 1971. 548 с.; Zak I., Bentor Y.K. Some 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). Pp. 137–144; The Dead Sea Rift. Eds. R. Freundt, Z. Garfunkel. Tectonophysics. Special issue. Vol. 80. N 1–4. 1981. 307 p.; Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. Рифтогенез на древних платформах. М.: Недра, 1987. 280 с.; Обстановки осадконакопления и фауны / Под ред. Х.Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 351 с. Т. 2. 381 с.; 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; Tectonics of Sedimentary Basins: From Crustal Structure to Basin Fill. Tectonophysics. Vol. 346. N 1–2. 2002. 180 p.; Трифонов В.Г., Караханян А.С. Геодинамика и история цивилизаций / Отв. ред. Ю.Г. Леонов. М.: Наука. 2004. 665 с.; Лунина О.В. Разрывные системы и поля напряжений южной части рифта Мертвого моря. Геотектоника. 2005. № 2. С. 52–65; и др.

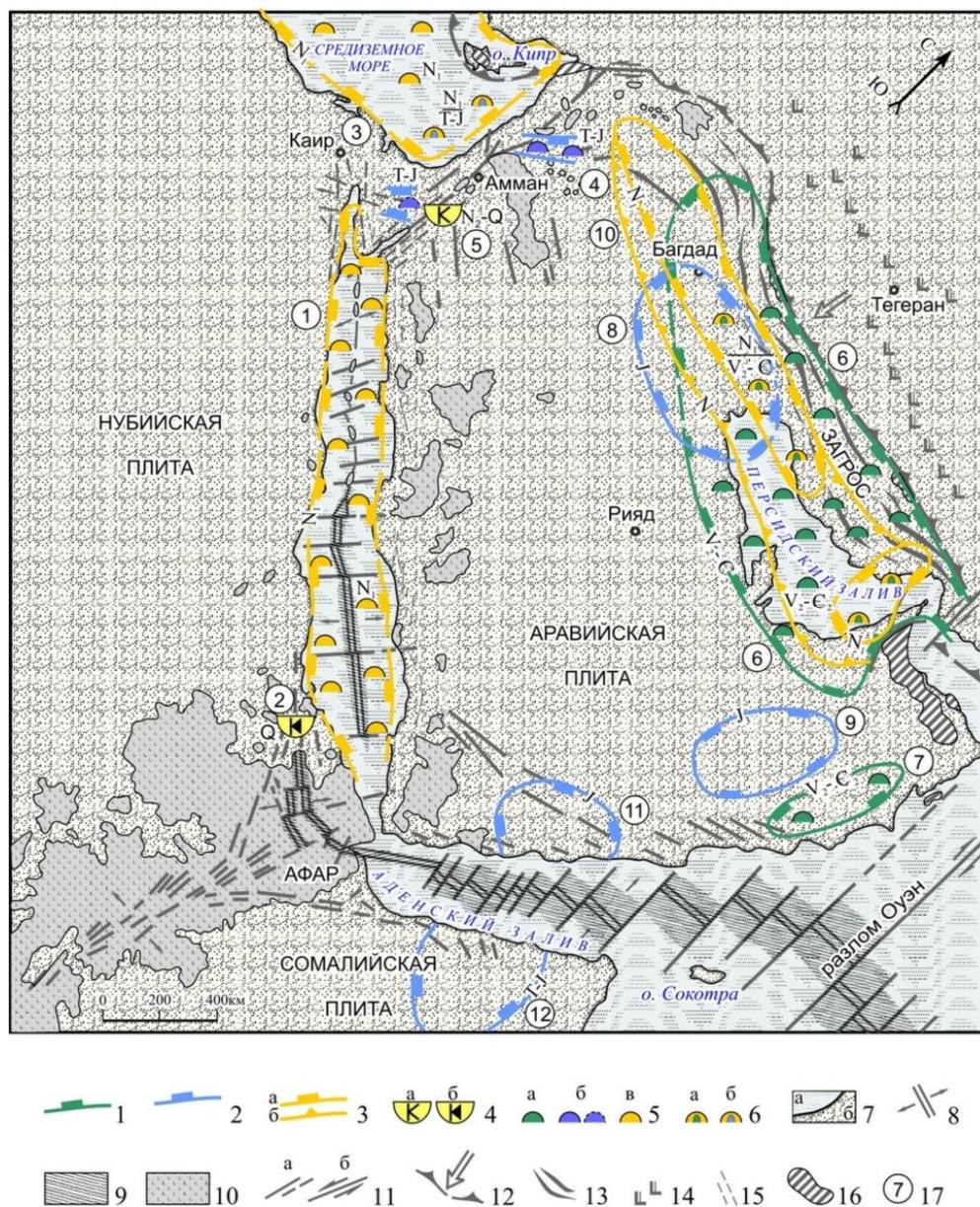


Рис. 1. Соленосные осадочные бассейны Циркумаравийского соленосного кольца. Составила Г.А. Беле-ницкая. Структурно-тектоническая основа по Колману<sup>1</sup>.

1-3 - границы распространения соленосных бассейнов (короткий пунктир - перекрытых более молодыми соленосными бассейнами или предполагаемых, длинный - обобщающие контуры): 1 - венд-кембрийских,  $V_2$ - $C_2$ , 2 - триасово-юрских, Т-Ј и верхнеюрских,  $J_3$ , 3 - миоценовых,  $N_1$  (а - галитовых, б - сульфатно-кальциевых); 4 - соленосные бассейны, показанные вне масштаба: а - Мертвого моря, хлоридно-кальциевого типа, б - Данакильский, сульфатно-кальциевого типа; 5 - области распространения солей, осложненных солянокупольной тектоникой (пунктирный значок - вероятно распространение): а - венд-кембрийских,  $V_2$ - $C_2$ , б - триасово-юрских, Т-Ј и верхнеюрских,  $J_3$ , в - миоценовых,  $N_1$ ; 6 - то же, при сочетании в разрезе разновозрастных солей с образованием двусолевых диапиров; 7 - современные акватории (а) и суша (б); 8 - современные активные центры спрединга (стрелки - направление спрединга); 9 - районы новообразованной океанической коры; 10 - поля вулканических пород; 11 - крупные нарушения (а) и направления смещений (б); 12 - крупные надвиги (стрелка - главное направление смещений); 13 - складчатый пояс Загроса; 14 - позднегеретичные известково-щелочные вулканические породы, связанные с субдукцией Аравийской плиты под Евроазиатскую; 15 - дайковые пояса; 16 - офиолиты; 17 (цифры в кружках) - соленосные бассейны (в скобках - возраст солей): 1 - Красноморский ( $N_1$ ), 2 - Данакильский (Q), 3 - Восточно-Средиземноморский ( $N_1$ , Т<sub>3</sub>-Ј<sub>1</sub>), 4 - Северо-Синайско-Пальмиридский (Т<sub>3</sub>,Ј<sub>3</sub>?), 5 - Мертвого моря ( $N_2$ -Q), 6 - Персидско-Загросский ( $V_2$ - $C_2$ ), 7 - Восточно-Аравийский ( $V_2$ - $C_2$ ), 8 - Северо-Аравийский (Ј<sub>3</sub>), 9 - Восточно-Аравийский (Ј<sub>3</sub>), 10 - Месопотамский ( $N_1$ ), 11 - Сабатайн (Ј<sub>3</sub>), 12 - Сомали-Эфиопский (Т-Ј).

<sup>1</sup> Колман Р. Красное море: малый океанический бассейн, образованный континентальным растяжением и спредингом морского дна // Докл. 27 МГК. М. 1984. Т. 6. Ч. II. С. 58-73.

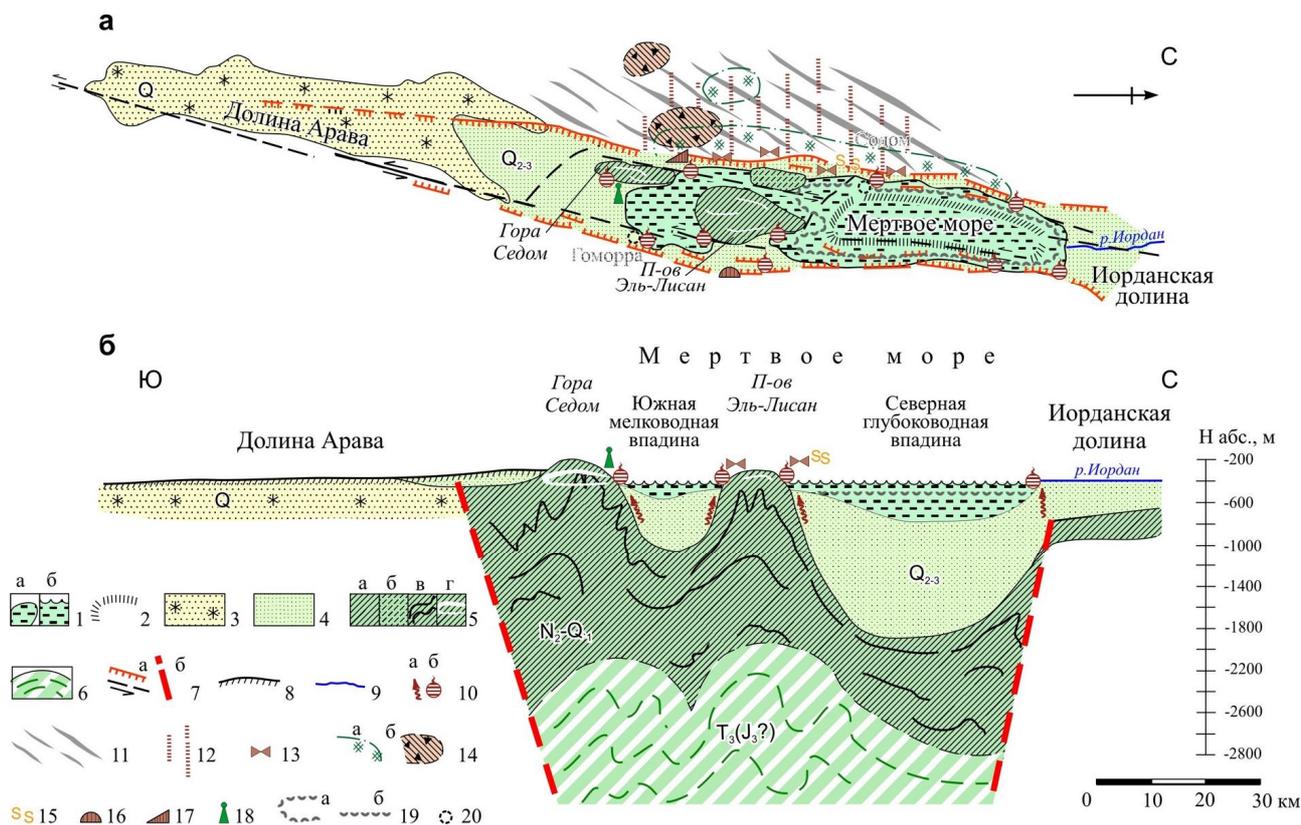


Рис. 2. Схематические план (а) и продольный разрез (б) соленосного бассейна Мертвого моря. Составила Г.А. Беленицкая<sup>1</sup>.

1 – высококонцентрированные рассолы Мертвого моря: а – на плане, б – на разрезе; 2 – контуры глубоководной впадины Мертвого моря (на плане); 3 – аллювиальные терригенные красноцветные отложения с подчиненным количеством озерных карбонатов (Q); 4 – озерные карбонатные и терригенные отложения с подчиненным количеством гипсов, ангидритов и каменной соли, свиты Амора и Лисан (Q<sub>2-3</sub>); 5 – каменная соль с подчиненным количеством гипсов, ангидритов, карбонатных и глинистых пород, свита Седом (N<sub>2</sub>-Q<sub>1</sub>): а, б – на плане (а – в открытых диапирах, б – в погребенных, установленных по геофизическим данным), в – на разрезе, г – карстовые системы в кепроках; 6 – вероятное распространение каменной соли T<sub>3</sub>(J<sub>3</sub>?) в погребенных диапирах (на разрезе); 7 – крупные тектонические нарушения (ограничения шелевого грабена Мертвого моря): а – на плане, б – на разрезе; 8 – поверхность Земли (на разрезе); 9 – река Иордан; 10 – восходящие потоки горячих рассолов с углеводородами и сероводородом (а) и очаги их разгрузки (б); 11 – основные структурные направления Северо-Синайской складчатой зоны, срезанные разломом, ограничивающим грабен Мертвого моря; 12 – область, перспективная на скопления углеводородов в отложениях Северо-Синайской зоны; 13 – область распространения приповерхностных проявлений нефтяных битумов («высачивания», смоляные ямы, древние разработки и др.); 14 – области наиболее значительного распространения в западном обрамлении грабена Мертвого моря<sup>2</sup>: а – плио-плейстоценовой наложенной галофильной минерализации (жилы галита, гипса, доломитизация и др.), б – плиоценового комплекса измененных грязевулканических («сопочных») брекчий (формации Хатрурим); 15 – предполагаемые древние разработки серы самородной; 16, 17 – проекции на поверхность скоплений углеводородов в отложениях мезозоя (16) и залежей верхнемеловых горячих сланцев (17); 18 – соляной столб «Жена Лота» (одно из положений, приводимых в путеводителях по Израилю); 19 – предполагаемое положение перед «Содомской катастрофой»: а – береговой линии Мертвого моря (на плане), б – уровня рассолов (на разрезе); 20 – вероятное положение городов Содом и Гоморра<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Моделировано по: Zak I., Bentor Y.K. Op. cit.; Обстановки осадконакопления и фации ...; с дополнениями по: Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Вып. 4. Альпийский Средиземноморский пояс. М.: Недра. 1984. 344 с.; Khesin B. Mineral resources of Israel and possibilities of their geophysical prospecting. Scientific issues of "Scientists of the South Association". 2005. Iss. 4. Pp. 3–18; Верба М.Л. Библийские легенды глазами геолога: Исторические и геологические свидетельства современного рифтогенеза. СПб.: Наука. 2008. 175 с.; Хаин В.Е., Короновский Н.В. Геомифология – новое направление в науке // Природа. 2009. № 4. С. 9–17; 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 (Hatruirim formation). Geol. Surv. Israel. Curt. Res. 1998. Vol. 11. Pp. 96–102; Гилат А. Содом и Гоморра: гидротермальные взрывы и самовозгорание горячих газов, вызванные землетрясением? // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ; углеводороды и жизнь. М.: ГЕОС, 2010. С. 112–114; и др.

<sup>2</sup> Gilat A. Op. cit.; Сокол Э.В., Новиков И.С., Вапник Е., Шарыгин В.В. Горение газов грязевых вулканов как причина возникновения высокотемпературных пирометаморфических пород формации Хатрурим (район Мертвого моря) // ДАН. 2007. Т. 413. № 6. С. 803–809.

<sup>3</sup> Хаин В.Е., Короновский Н.В. Указ. соч.

наиболее значительных осложнений – в глубоком (до 8–10 км) ромбовидном грабене, отвечающем шелевидной структуре сдвига-раздвигового (pull-apart) типа, длиной до 200 км и шириной до 10–15 км. Мертвое море представляет собой классический сдвиговый бассейн<sup>1</sup>. Активное дискретное смещение вдоль сдвиговой зоны, начавшись в олигоцене (или ранее), резко усилилось в плио-плейстоцене (при переходе к фазе спрединга в Красноморской рифтовой зоне) и осуществляется поныне. Сдвига-раздвиговая щель, контролирующая грабен Мертвого моря, возникла в позднем плиоцене в месте «разрезания» Левантским сдвигом Северо-Синайско-Пальмирской авлакогенной зоны. Срез юго-западной ветви этой зоны по существу непосредственно «утыкается» в эту щель. Срез же северо-восточной Пальмирской ветви приходится на область преобладания в пределах Левантского сдвига сжимающих напряжений. Роль этой зоны в истории солей Мертвого моря представляется нам чрезвычайно важной, во многом ключевой (хотя до настоящего времени не расшифрованной), поэтому мы ниже уделим ей особое внимание. Здесь лишь отметим, что в пределах северо-восточной Пальмирской ветви хорошо известны и имеют значительное распространение мощные толщи солей верхнетриасового (возможно верхнеюрского) возраста<sup>2</sup>. Сумма геологических данных позволяет нам полагать, что соленосные комплексы того же возраста имеют (или имели в доплиоценовое время) непосредственное продолжение и в юго-западной Северо-Синайской ветви, срезанной грабеном Мертвого моря (рис. 3)

Борта грабена слагают геологические образования разного состава и возраста: западный – в значительной мере осадочные комплексы Северо-Синайской зоны – меловые и эоценовые, подстилаемые юрскими и триасовыми; восточный – преимущественно докембрийские Аравийской плиты<sup>3</sup>. Восточное тектоническое ограничение оценивается как древняя (возможно, докембрийская) сутура<sup>4</sup>.

**Соляные недра грабена Мертвого моря.** Грабен выполняют осадочные отложения вероятной мощностью до 8–10 км. В их составе доминируют соли, образующие до 70–80% мощности. Нижние части разреза не изучены. Не исключено, что в их основании присутствует опущенный блок мезозойских пород, аналогичных развитым в Северо-Синайской зоне западного обрамления грабена<sup>5</sup>. Верхнюю часть осадочного заполнения образует мощная (не менее 4–5 км) серия плиоцен-четвертичных соленосных отложений<sup>6</sup>. В их разрезе можно выделить три комплекса. Снизу вверх:

1. Мощная (более 3–4 км в солянокупольных поднятиях) соленосная формация (свита Седом) плиоцен-раннеплейстоценового возраста (N<sub>2</sub>–Q<sub>1</sub>). Сложена преимущественно каменной солью с подчиненным количеством гипсов, ангидритов, карбонатных и глинистых пород. В солях купола Эль-Лисан в интервале 541–596 м вскрыты пласты калийных (сильвин-карналлитовых) солей с содержанием K<sub>2</sub>O 21,7–23,2%<sup>7</sup>.

2. Толща, мощностью 500–1000 м, средне-позднеплейстоценовых (Q<sub>2-3</sub>) озерных карбонатных и терригенных отложений, с неравномерным, в целом подчиненным, содержанием ангидритов, гипсов, каменной соли (свиты Амора, Лисан и перекрывающие осадки).

3. Голоценовые (Q<sub>4</sub>, 12–15 тыс. лет) хемогенные осадки, мощностью от нескольких до 70 м, распространенные преимущественно в пределах акватории Мертвого моря. Представлены переслаиванием глинистых отложений с пластами арагонита, гипса, галита, образующих линзообразные раздувы. За пределами акватории в грабеновой структуре развиты в основном аллювиальные отложения, представленные существенно терригенным материалом с подчиненным количеством озерных карбонатов и сэхово-лагунных осадков.

Наиболее важный элемент выполнения грабеновой структуры – соли нижней свиты Седом – составляют значительную часть ее объема, слагая дно и борта рассолоносной «чаши». На поверхность Земли они выведены в двух открытых соляных куполах, отвечающих горе Седом (Маунт Сдом) и п-ову Эль-Лисан (рис. 2). Первый из них, возвышаясь на 200–220 м над современным уровнем Мертвого моря, на глубине образует вытянутое стено-(дайко)подобное соляное тело (длиной около 10 км, шириной 1–2 км, высотой более 3–4 км), прижатое к западному ступенчатому тектоническому ограничению грабена. Западный и восточный склоны тела крутые. В его приповерхностной зоне развит мощный (около 40 м) остаточный кепрок. Второй соляной купол – Эль-Лисан, по площади более крупный (16 × 9 км<sup>2</sup>), также с кепроком, приподнят над окружающей поверхностью лишь на несколько метров и покрыт тонким слоем озерных осадков. Купола разделены палеодепрессией, выполненной комплексом средне-верхнеплейстоценовых отложений, неровная поверхность которых, в свою очередь, перекрыта маломощными голоценовыми осадками и толщей рассолов. Вдоль западного борта впадины геофизическими методами прослежено еще одно – закрытое – солянокупольное тело Арват Седом. На глубине соляные купола, вероятно, соединяются в единый соляной массив, в целом штокообразной формы, прослеженный в южной части грабена не менее чем на 40 км при ширине до 10 км.

Глубокие части разреза (особенно глубже 4 км), где предполагаются «корни» солей свиты Седом, изучены слабо. Скважина, достигнув глубины 3672 м, не вышла из солей. Существуют разные интерпретации. В одних публикациях<sup>8</sup> соляные массы трассируются до глубин 6–8 км, возможно более. В других<sup>9</sup> нижняя поверхность соляного диапира намечена на глубинах 2–3 км. Судя по приводимым в публикациях материалам, более вероятно распространение солей и в глубоких частях прогиба.

Таким образом, в грабене Мертвого моря на очень ограниченной площади (около 1,5–2,0 тыс. км<sup>2</sup>, т.е. на по-

<sup>1</sup> Обстановки осадконакопления и фации / Под ред. Х.Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 2. С. 267.

<sup>2</sup> Omara S. Diapiric structures in Egypt and Syria // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1964. Vol. 48. N 7. Pp. 1116–1125; Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Вып. 1. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. М.: Недра. 1971. 548 с.

<sup>3</sup> Atlas of Israel...

<sup>4</sup> Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region // The Geological Soc. of America. Spec. Paper. 1968. Pp. 139–156.

<sup>5</sup> The Dead Sea Rift...

<sup>6</sup> Neev D., Emery K.O. Op. cit.; Bentor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1961. Vol. 25. Pp. 239–260; Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region...; Zak I., Bentor Y.K. Op. cit.; The Dead Sea Rift...

<sup>7</sup> Яншин А.Л., Жарков М.А. Фосфор и калий в природе. Новосибирск: Наука, 1986. 191 с.

<sup>8</sup> Neev D., Emery K.O. Op. cit.; Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Вып. 4. Альпийский Средиземноморский пояс; Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. Рифтогенез на древних платформах. М.: Недра, 1987. 280 с.; и др.

<sup>9</sup> Tectonics of Sedimentary Basins...

рядок меньше, например, Онежского озера) находится мощное соляное тело, общей штокообразной формы, прижатое к западному борту. Поверхность тела неровная: в западной и южной частях – куполообразная (с максимальной мощностью солей), в восточной и северной – возможно более пластообразная (с минимальной их мощностью). Тело осложняют поднятия и прогибы второго порядка. Общая картина строения соленосного тела отражена на субмеридиональном продольном профиле, проведенном ближе к западному борту грабена (рис. 2).

Соляное тело в целом может рассматриваться как крупный соляной массив, осложненный тремя соляными поднятиями и разделяющими их депрессиями, частично заполненными плейстоценовыми соленосными отложениями, а поверх перекрытыми толщей рассолов. Внешние границы тела и его контакты с породами обрамлений грабена тектонические, фациальные переходы отсутствуют. Заметим сразу, что такое сочетание: крупный массив высшего порядка и осложняющие его сопряженные пары – диапировые поднятия-«горы» и разделяющие их депрессии, часто рассолоносные, – весьма характерно для многих солянокупольных бассейнов мира. К солянокупольным аналогам Мертвого моря мы специально вернемся позже.

Заполненный соляным телом и рассолами грабен Мертвого моря представляет собой в итоге одну из наиболее соленасыщенных структур в мире. Общая масса заключенных в ней солей оценивается величинами порядка  $10^{13}$  т. Хотя по общему объему она безусловно отстает от многих солянокупольных бассейнов-гигантов и супергигантов из-за своей сравнительно ограниченной площади, уступающей некоторым из них (площадь до 100–500 тыс. км<sup>2</sup> и более) на два порядка и даже больше, но по соленасыщенности – явно лидирует, по сути представляя единый мощный соляной массив, почти нацело выполняющий грабен.

**Флюидодинамическая напряженность недр Мертвого моря и способы ее разрядки.** Важнейшая особенность как структуры Мертвого моря, так и всего Левантского региона, – высокая и разнообразная неогеодинамическая активность: тектоническая, вулканическая, сейсмическая, галокинетическая, грязевулканическая. Многие геологические показатели свидетельствуют, что проявления такой активности были характерны и для неоген-четвертичной эпохи в целом, и для голоценового, и для исторического времени<sup>1</sup>. Так, прямым следствием геодинамической активности является прежде всего «провальный» характер грабеновой структуры с общим погружением до 8–10 км (большая часть которого приходится на плиоценовое время) и очень значительные мощности ее осадочного выполнения. Вулканические поля четвертичного времени широко распространены вдоль восточного обрамления грабена. Хотя проявления вулканизма в голоценовое и историческое время непосредственно в ареале грабена не известны, однако многочисленные проявления палеосейсмичности, характер разрывных и сдвиговых нарушений, контрастные формы рельефа и другие признаки убедительно свидетельствуют о высокой геодинамической активности в течение всего этого времени.

Разрядка флюидодинамической напряженности реализуется как через «настоящий» вулканизм (связанный с магматизмом) и многочисленные землетрясения, так и через интенсивные восходящие разгрузки разнообразных содержащихся в недрах подвижных компонентов – солей, нефтей, газов, рассолов. Одним из наиболее ярких проявлений разгрузки является ее взрывная разновидность – «осадочный» (амагматический) вулканизм: грязевой, газовый, соляной, рассольный, смешанный. Грязевой вулканизм в регионе проявился чрезвычайно широко и масштабно в позднеплиоценовое время, особенно в Северо-Синайской зоне, сформировав, в частности, мощные комплексы известной «формации Хатрурим»: «сопочных брекчий» и других сопряженных грязевулканических образований, а в подстилающем их субстрате – зоны метасоматического преобразования прорываемых пород, обрамляющих многочисленные подводящие каналы<sup>2</sup>. Проявился он и непосредственно вблизи западного и юго-западного обрамлений Мертвого моря (рис. 2). Интенсивные разгрузки углеводородов голоценового времени запечатлены в виде многочисленных скоплений асфальта вдоль побережий Мертвого моря (возможно, представляющих собой лишь фрагменты более значительных площадных покровов, в приповерхностной зоне лишь частично сохранившиеся и локально обнаженные). Выбросы углеводородных газов неоднократно наблюдались непосредственно в грабене Мертвого моря и в историческое время и в наши дни. Зафиксированы они и при бурении мелких скважин, в том числе у самой горы Седом<sup>3</sup>. Еще один важнейший тип восходящих разгрузок – источники глубинных рассолов. Их распространение, масштабы и природу мы обсудим ниже.

Еще одно следствие и косвенное свидетельство флюидодинамической напряженности – дискретный рост соляных поднятий, обусловленный реологической неустойчивостью в недрах легких и пластичных соляных масс. Особенно значительный рост поднятия купола Седом предпологается в среднеплейстоценовое время. За последние 10 тысяч лет его поднятия, фиксированные ступенчатыми террасами, уступами кепроковых тел, карстовыми и др. образованиями составили примерно 100 м, в том числе 70 м – сравнительно недавно<sup>4</sup>. Неравномерный рост соляных куполов, продолжается и в настоящее время. Именно проявления сеймотектонической и флюидодинамической напряженности недр являются, по нашему мнению, одним из важных регуляторов разнонаправленных колебаний уровня Мертвого моря, обсуждению которых также будет посвящен специальный раздел второй статьи.

Итак, структура Мертвого моря представляет собой своеобразный ромбовидный палеокотлован, заполненный соляными массами и рассолами, которые находятся в условиях флюидодинамической напряженности, повышенных температур и давлений, представляя собой реологически неустойчивую, а возможно и взрывоопасную систему.

### «Необычные» особенности Мертвого моря

**«Соленосное чудо».** Говоря о «соленосном чуде», обычно подразумевают собственно Мертвое «море» – рассольный водоем, уникальный по многим показателям. И хотя этот водоем в действительности является лишь верхней наиболее видимой частью значительно более крупного соленосного объекта, понятие «чуда» все же отождеств-

<sup>1</sup> Бейли В. Указ. соч.; Atlas of Israel...; The Dead Sea Rift...; Библийская Энциклопедия. Изд. Свято-Троице-Сергиевской Лавры, 1990. 904 с.; 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; Трифионов В.Г., Караханян А.С. Указ. соч.; Гилат А. Указ. соч.

<sup>2</sup> Gilat A. Op. cit.; Сокол Э.В., Новиков И.С., Валник Е., Шарыгин В.В. Указ. соч.; Гилат А. Содом и Гоморра...

<sup>3</sup> Khesin B. Op. cit.; Гилат А. Содом и Гоморра...

<sup>4</sup> Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region. The Geological Soc. of America. Spec.Paper. 1968. Pp.139–156.

Рис. 3. Соленосные бассейны Левантского региона. Составила Г.А. Беленицкая<sup>1</sup>.

1 - внутриплатформенные палеорифтогенные складчатые зоны (П - Пальмирская, СС - Северо-Синайская, Е - Евфратская); 2 - позднекайнозойские зоны нарушений: а - рифты (С - Суэцкий грабен), б - сбросы, в - сдвиги-раздвиговые зоны (Л - Левантская, СА - Северо-Анатолийская), г - сдвиги; 3 - фронт альпийского надвига; 4 - базальты: а - неоген-четвертичные, б - то же, с проявлениями голоценовых; 5 - озера: а - пресные, б - рассольные; 6 - морские акватории (а) и суша (б); 7 - области распространения солей, осложненных солянокупольной тектоникой (пунктирный контур в Средиземном море - ориентировочная граница): а - миоценовых (в Мертвом море - верхнеплиоценовых), б - триасово-юрских (мелький значок - предполагаемых), в - вероятного сочетания разновозрастных солей с образованием двусоляных диапиров; 8 - области интенсивного проявления наложенной галофильной минерализации (жилы галита, гипса, доломитизация и др.)<sup>2</sup>. СБ - Синайский (Палестинский) блок.

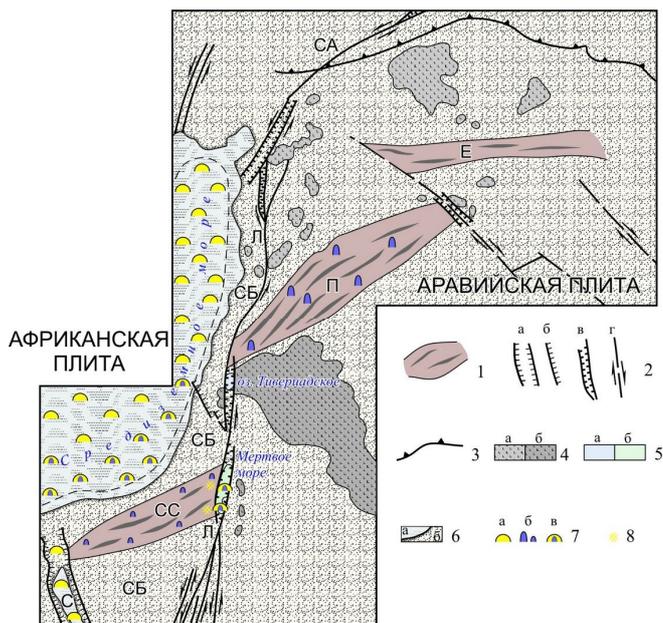


Рис. 4. Панорамы Мертвого моря и побережий, гора Седом, река Иордан<sup>3</sup>.

а, б - Мертвое море и соляные берега; в - гора Седом; г - река Иордан в Иорданской долине; д - ж - скопления солей, обрастания, корки на мелководье Мертвого моря, соляные сталактиты; з - рассольные ямы.

<sup>1</sup> Неогеодинимическая обстановка по: Милановский Е.Е. Указ. соч.; Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамян Ж. Указ. соч.; Лунина О.В. Указ. соч.; с дополнениями.

<sup>2</sup> Gilat A. Op. cit.

<sup>3</sup> Монтаж фото из: Википедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [ru.wikipedia.org/wiki/Иордан](http://ru.wikipedia.org/wiki/Иордан); [wikipedia.org/wiki/Dead\\_sea](http://wikipedia.org/wiki/Dead_sea); Опарин А.А. Древний мир и библейская археология. Харьков: Факт, 2004; Он же. Ключи истории. Археологическое исследование книги Бытие. Харьков: Факт, 2003.

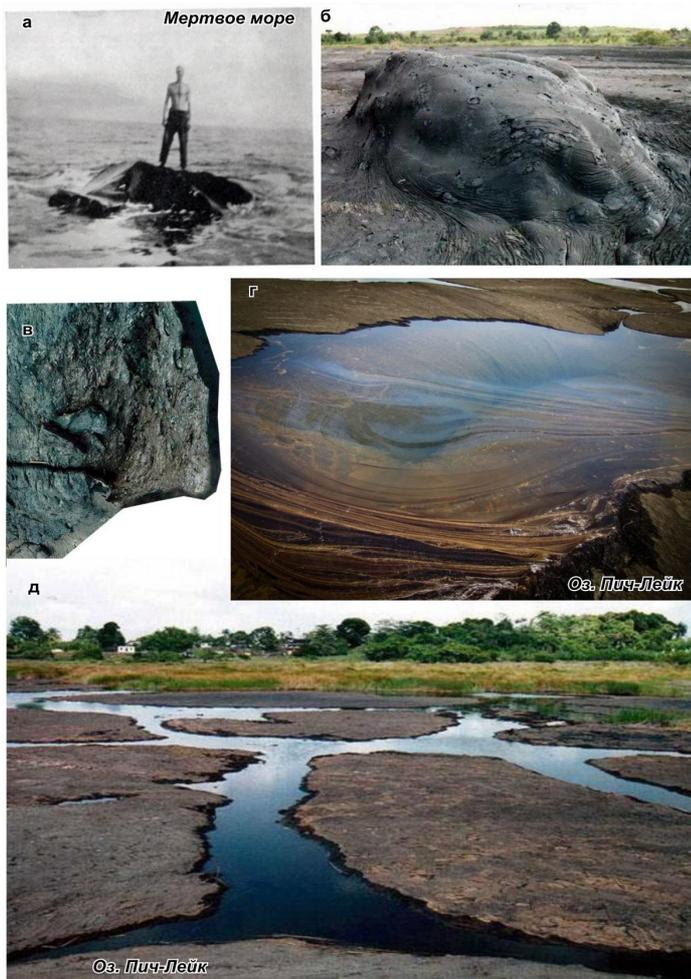


Рис. 5. Асфальтовые озера – Мертвое море и Пич-Лейк (а – из работы Клаппа<sup>1</sup>, б – д – с сайтов [ru.wikipedia.org/wiki/Пич\\_Лейк](http://ru.wikipedia.org/wiki/Пич_Лейк) и <http://mygeography.ru/article/pich-lake>.

а – человек на глыбе асфальта в Мертвом море; б, в – глыбоподобное скопление (б) и кусок асфальта (в) на озере Пич-Лейк; г, д – панорамы «битумного» озера Пич-Лейк: г – расплывающийся ирридирующий асфальт, д – куски застывшего и более жидкого асфальта.



Рис. 6. Мертвое море в картинах художников: слева – Гюстав Доре, «Истребление Содома и спасение Лота» 1880-е гг., справа вверху – Джон Мартин, «Содом и Гоморра», первая половина XIX в., внизу – Вильям Холман Хант, «Козел отпущения», 1854.

<sup>1</sup> Clapp F.G. Geology and Bitumens of the Dead Sea Area, Palestine and Transjordan. Bull. AAPG. 1936. Vol. 20. Iss. 7. Pp. 881–909.

ляется именно с ним. И это во многом справедливо. Современное Мертвое море представляет собой заполненный рассолами глубоководный бессточный озерный водоем<sup>1</sup>. Это самый низкий участок глубочайшей на Земле депрессии: поверхность озера и его побережий находятся более чем на 400 м (в 2011 г. – на 425,5 м), а дно под слоем рассолов, мощностью до 378 м, – на 750–800 м ниже уровня океана. Озеро занимает значительную часть гигантской грабенной впадины, площадью около 2,0 тыс. км<sup>2</sup> (шириной 10–15 (20) км, протяженностью ~200 км), ограниченной ступенчатыми разломами амплитудой более 4–6 км. Длина самого озера около 70 км, ширина до 14–18 км. Его площадь еще в середине XX века составляла около 1000 км<sup>2</sup>, а само озеро представляло собой единое целое, лишь частично разделенное выступом полуострова-диапира Лисан на две неравные части: северную глубоководную (до 300–378 м), значительно более крупную (свыше 80% площади), и южную мелководную (до 5 м). За последующие десятилетия в связи с падением уровня рассолов общая площадь сократилась почти на треть (в 2007 г. она оценивалась величиной 650 км<sup>2</sup><sup>2</sup>, северный бассейн отделился от южного, глубина которого сократилась до 2–3 м и менее.

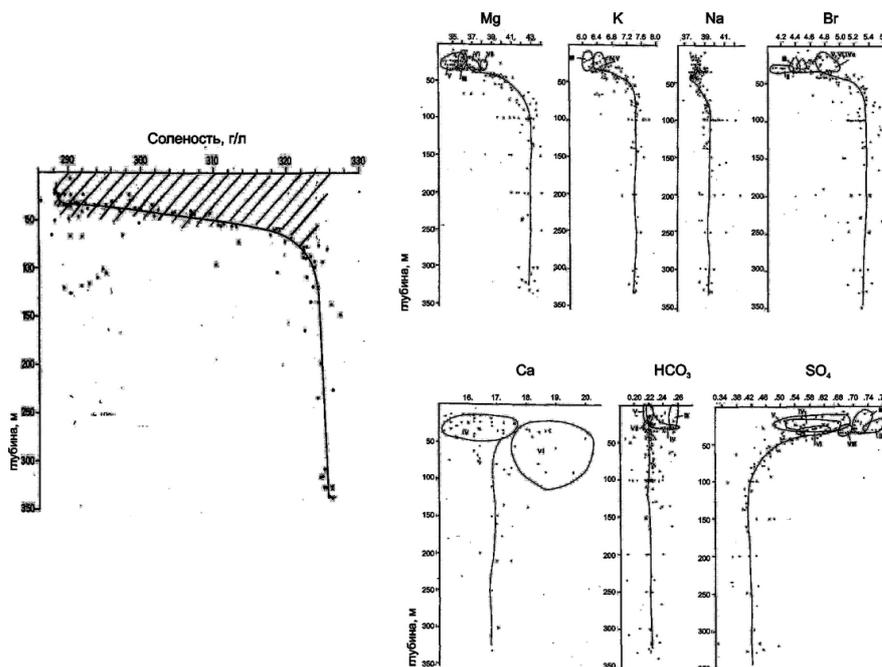
С севера и юга к озеру примыкают прибрежные внутриграбенные равнины. Западные и восточные берега крутые, скалистые. Высота обрамляющих озеро с обеих сторон плато – Палестинского и Трансиорданского – достигает 790 м над уровнем моря<sup>3</sup>. На расстоянии всего 10–12 км перепад отметок от бортов до поверхности рассолов составляет около 1200 м, до дна озера превышает 1500 м, а до погребенного под осадками дна грабенной структуры – 8–10 км.

Впадина, занятая рассолами, отвечает надсолевой депрессии, осложняющей поверхность выполняющего грабен соляного тела. Сама депрессия может рассматриваться как тектоно-компенсационная муфта, возникновение которой отражает результирующий эффект тектонического и галокинетического прогибания. Дно и борта рассолоносной муфты сложены преимущественно солями, в разной мере перекрытыми соленосными осадками.

Рассолы Мертвого моря знамениты высочайшей концентрацией солей, их плотностью и своеобразием состава (табл. 1). Соленые воды этого «самого низкого в мире озера дрожат в нестерпимом зное»<sup>4</sup>. Соленость рассолов (до 330–336 г/л в глубоких слоях) почти на порядок превышает соленость океанических вод (36 г/л), достигая (а порой и превышая) концентрации рассолов, насыщенных по отношению к NaCl (320–330 г/л или 270–275 г/кг<sup>5</sup>; правда, NaCl в них составляет лишь часть общего количества растворенных солей, больше половины которого приходится на долю других компонентов, что и препятствует массовому осаждению NaCl из этих рассолов). Ныне Мертвое море – самый солёный в мире озерный водоем столь значительной (уникальной) глубины.

Еще одна характерная особенность толщи рассолов – их стратификация (расслоение). На фоне роста от поверхностных зон к глубинным общей минерализации и концентраций большинства макро- и микрокомпонентов четко обособлены два слоя (схема 1). Для нижнего мощного слоя характерны максимальные значения этих показателей,

Схема 1. Вертикальное распределение солености и основных ионов в рассолах Северного глубоководного бассейна Мертвого моря (от поверхности до глубины 350 м). По горизонтали – общая соленость и содержания ионов, г/л, по вертикали – глубины, м. Водоем стратифицирован; заштрихована верхняя зона менее минерализованных и неоднородных по составу рассолов. Точки – единичные пробы, кресты – объединенные, контуры I–VI – групповые результаты отдельных рейсов 1959–1960 гг.<sup>6</sup>



резко восстановительная обстановка и относительная однородность состава и температуры. Верхний слой, мощностью около 40–50 м, характеризуется несколько более низкими значениями общей минерализации и концентраций большинства компонентов, окислительной обстановкой, а также вариациями солености и температуры – в пространстве (относительно устья р. Иордан) и во времени (по сезонам). Правда, в последние десятилетия, судя по материалам прессы, происходит перемешивание рассолов северного бассейна и стратификация сглаживается.

<sup>1</sup> Бейли В. Указ. соч.; Atlas of Israel...; Википедия (wikipedia.org/wiki/Dead\_sea, 2011); Мертвое море – Азия – Чудеса природы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nature.worldstreasure.com/miracle.asp?id=33>

<sup>2</sup> Shalev E., Lyakhovskiy V., Yechieli Y. Is advective heat transport significant at the Dead Sea basin? // Geofluids. 2007. N 7. Pp. 292–300.

<sup>3</sup> Бейли В. Указ. соч.; Atlas of Israel...

<sup>4</sup> Мертвое море – Азия – Чудеса природы...

<sup>5</sup> Зайцев И.К., Толстихин Н.И. Закономерности распространения и формирования минеральных подземных вод. М.: Недра, 1972. 280 с.

<sup>6</sup> По: Neev D., Emery K.O. Op. cit.

Общий объем рассолов в 60–80 гг. XX века оценивался цифрами ~140–160 млрд. м<sup>3</sup>, а количество заключенных в них солей – 50 × 10<sup>9</sup> т. В составе рассолов из анионов преобладает Cl (194,4–221,9 г/л), из катионов – Mg (37,0–44,5 г/л) и Na (36,5–38,6 г/л). Характерны высокие концентрации K (7,3–8,5 г/л), Ca (13,8–16,1 г/л) и Br (4,6–5,5 г/л). Содержание всех этих компонентов растет с глубиной параллельно с ростом общей минерализации (табл. 1; схема 1). Одна из отличительных особенностей рассолов Мертвого моря – высочайшие для поверхностных водоемов концентрации K, Mg и особенно Br. Их содержания на порядок (и более) превышают промышленные кондиции (табл. 1). Повышены, кроме того, содержания Li, Rb и Sr, также несколько превышающие кондиционные или близкие к ним. Рассолы Мертвого моря с полным основанием можно отнести к «жидким рудам», в которых сосредоточены крупнейшие запасы всех перечисленных макро- и микроэлементов. По концентрации брома (до 8 г/л) Мертвое море – практически «самый бромный» в мире открытый водоем; по его содержанию, как и по многим другим показателям, эти рассолы сопоставимы с уникальными подземными рассолами Восточно-Сибирского бассейна. В Израиле и Иордании производится добыча рассолов, обеспечивающая извлечение калия, магния, брома.

Показательные очень низкие (41–42) величины Cl / Br-коэффициента рассолов – одного из общепринятых наиболее значимых генетических<sup>1</sup>. Такие значения типичны для глубинных высококонцентрированных подземных и поверхностных рассолов многих соленосных регионов. К их обсуждению мы вернемся позже.

Возраст рассолов (как и верхнего слоя осадков), по данным изотопного анализа C<sup>14</sup>, определяется цифрой 12–15 тысяч лет<sup>2</sup>.

Поверхностное водное питание Мертвого моря, помимо скудных атмосферных осадков, осуществляют главным образом воды впадающей в него реки Иордан (рис. 4) и ряд более мелких (до 50–55), обычно пересыхающих водотоков, питаемых преимущественно источниками. Воды р. Иордан в основном пресные (табл. 1) Их соленость в верхнем течении не превышает 0,05 г/л, в среднем – 0,5 г/л, и лишь в приустьевой части, вблизи Мертвого моря, она несколько повышается (до 1,3 г/л) под влиянием восходящих источников рассолов. Поверхностный сток р. Иордан в 1960-е гг. оценивался величиной 1,25 млрд. м<sup>3</sup>/год<sup>3</sup>, в 1980-е – 0,85 млрд. м<sup>3</sup>/год. За последние годы он резко сократился, и с 2000-х годов приводятся величины около 0,1 млрд. м<sup>3</sup>/год<sup>4</sup>.

Помимо поверхностного, в питании Мертвого моря принимает участие подземный сток, в составе которого доминируют высококонцентрированные рассолы – выщелачивания и восходящие глубинные. Довольно многочисленные источники рассолов распространены вдоль берегов, особенно западного, и на дне моря. Вклад в водный и в солевой баланс Мертвого моря разных источников мы рассмотрим ниже при обсуждении генезиса рассолов Мертвого моря.

Упоминания о Мертвом море привычно сопровождают эпитеты «самое», «наиболее» и т.д.: самое низкое, самое соленое, а из соленых – самое глубокое, самое безжизненное и самое целебное, наконец – самое легендарное. Правда, по большинству показателей «соперники» все же есть. Из всех этих особенностей по-настоящему уникальной и рекордной является лишь самое низкое положение на поверхности суши. Уже следующая по абсолютной глубине (среди глубочайших на планете) впадина Афар с рассольным озером Ассоль больше чем на 250 м «отстает», находясь на отметках «всего» минус 153 м. Что касается площади современной поверхности озера, то даже среди других рассольных водоемов она занимает не первое место, хотя все же весьма значительно, на порядок, превышает площади многих известных рассольных озер, в том числе известных наддиапировых озер Прикаспийской впадины. Зато в большом списке гигантов – крупнейших по площади озер мира (общем для пресноводных и рассольных) Мертвое море – «самое маленькое». Такой вот «миниатюрный» соляной гигант. По своим параметрам оно находится на пределе попадания в этот список: даже его бывшая (в середине XX в.) площадь (около 1 тыс. км<sup>2</sup>) в 2–3 раза меньше площади следующих (по возрастанию) озер Чаны и Поопо, в 3,5 раза меньше Чудского, в несколько раз – Большого Соленого, в 10 раз – Онежского (зато глубина Мертвого моря в 3–4 раза больше, чем Онежского), в 18–20 – Ладожского, в 30 – оз. Байкал и в 400 – Каспийского. Напомним, что и солянокупольный бассейн Мертвого моря является одним из «самых маленьких» по площади среди солянокупольных бассейнов мира.

**«Что в имени тебе моём?»: специфические особенности Мертвого моря, отраженные в его названиях.** Многие из важнейших и уникальных особенностей Мертвого моря и связанные с ним события и легенды нашли отражение в разнообразии его названий-эпитетов. Главные из них: Соляное, Асфальтовое, Мертвое, Содомское (море Лота). Для нас важно, что большинство из них имеет ярко выраженную геологическую основу.

Название «Соляное» (ивр. «Море соли»), естественно, обязано, прежде всего, его знаменитым рассолам, заключающим около 50 млрд. т соли, а также растущим буквально на глазах неподражаемым по красоте и разнообразию массам соляных кристаллов (рис. 4). Но не только им. Еще – и соляным берегам, и соляным «горам», и кускам соли на побережье, и соляным столпам и т.д. Соляное «царство», где соль – везде: и в воде, и на суше, и в воздухе, и под землей. Экстремальные концентрации солей в рассолах Мертвого моря и их высокий удельный вес (рассолы в 1,3 раза тяжелее воды) создают широко известный эффект «невесомости». Способность удерживать лежащих на их поверхности людей – одно из наиболее наглядных проявлений этих особенностей. (Правда, те же особенности характерны и для многих других, хотя и не столь крупных, рассольных озер, особенно часто наддиапировых – как природных, так и техногенных. Не случайно поэтому название «Мертвое море» стало своеобразным брендом: повсеместно мы встречаем свои «Мертвые моря» – то российские (Баскунчак и др.), то алтайские, то хакасские, то украинские, и наверняка также и мексиканские, американские, австралийские и т.д. Было бы справедливо назвать Соляной и саму грабенную структуру, самую соленасыщенную солянокупольную структуру мира – своеобразную природную «солонку» планеты, одну из ее наиболее «соленых точек».

«Асфальтовое» – другое распространенное название. Именно оно значит как основное в Библейской Энциклопедии. Название обязано обилию находящихся здесь самых разных видов скоплений асфальта – горючей

<sup>1</sup> Bendor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age...; Bendor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region...; Neev D., Emery K.O. Op. cit.; и др.

<sup>2</sup> Neev D., Emery K.O. Op. cit.; Bendor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region...

<sup>3</sup> Bendor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age...; Neev D., Emery K.O. Op. cit.

<sup>4</sup> Википедия (wikipedia.org/wiki/Dead\_sea); Long-Term Changes in the Dead Sea...

Таблица 1

Состав рассолов Мертвого моря (на разных глубинах), в источниках и вод р. Иордан\*

Компоненты	Кондиции	Океан. вода	Мертвое море, сред.	Мертвое море (поверхн. воды)	Мертвое море, гл. 35 м	Мертвое море, гл. 45 м	Мертвое море, гл. 100 м	Мертвое море, гл. 310 м	Скв. 1, г. Седом	Ист. Тампла, г. Седом	Ср. 3-х ист. г. Седом	р. Иордан, у Иерихона	оз. Тиверидское
г/л													
ΣM		36,0	315,04	273,41	296,41	314,36	332,45	336,15	437,40	386,12	370,57	1,310	0,507
Na	50	11,03	34,94	33,50	37,32	37,05	38,18	38,60	23,10	26,60	24,81	0,253	0,131
K	<b>(0,35)–1</b>	0,40	<b>7,56</b>	<b>6,30</b>	<b>7,27</b>	<b>8,19</b>	<b>8,52</b>	<b>8,54</b>	<b>30,10</b>	<b>14,90</b>	<b>15,99</b>	0,015	0,007
Ca		0,42	15,80	13,00	13,57	14,55	15,81	16,08	85,20	40,90	37,24	0,080	0,049
Mg	<b>1–5</b>	1,33	<b>41,96</b>	<b>34,50</b>	<b>37,68</b>	<b>41,08</b>	<b>44,35</b>	<b>44,54</b>	<b>21,10</b>	<b>41,00</b>	<b>41,67</b>	0,071	–
Cl		19,83	208,02	180,80	195,20	207,74	219,55	221,95	274,80	259,03	247,72	0,474	0,283
SO <sub>4</sub>	50	2,77	0,54	0,90	0,48	0,49	0,37	0,71	сл.	сл.	0,11	0,174	0,034
HCO <sub>3</sub>	50	0,14	0,24	0,25					сл.	0,38	0,13	0,238	–
Br	<b>0,25–0,50</b>	0,14	<b>5,40</b>	<b>4,10</b>	<b>4,64</b>	<b>5,01</b>	<b>5,39</b>	<b>5,45</b>	<b>3,10</b>	<b>3,31</b>	<b>2,90</b>	0,004	0,002
Sr	<b>0,30</b>	0,0139	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25					
мг/л													
Li	<b>10 (20)</b>	0,2	22		<b>12</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	25					
Rb	<b>3</b>	0,12	<b>60</b>	<b>60</b>				86					
Cl/Br		292,0	35,1	~45	~42	~41	41	~41	88,3	~88,3	85,5	109,3	~140

\* Составлено по работам Bentor Y.K. и Neev D., Emery K.O.<sup>1</sup>, с дополнениями<sup>2</sup>. Выделены полужирным шрифтом содержания компонентов рассолов, находящиеся в промышленных концентрациях.

<sup>1</sup> Bentor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age...; Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region...; Neev D., Emery K.O. Op. cit.

<sup>2</sup> Основы гидрогеологии. Использование и охрана подземных вод. Отв. ред. Н.А. Маринов, Е.В. Пиннекер. Новосибирск. Наука. 1983. 231 с.; Зайцев И.К., Толстихин Н.И. Указ. соч.; Анциферов А.С. Ресурсы уникальных хлор-кальциевых рассолов Сибирской платформы и проблемы их освоения. Разведка и охрана недр. 2004. № 89. С. 30–32.

«горной смолы». Причем скоплений и «живых» и «мертвых» (по терминологии А. Леворсена), связанных и с современными и с прошлыми активными источниками углеводородов, смоляными ключами, высачиваниями, выходами и истечениями нефти и обычно сопровождающего их газа. Их яркие описания приводят многие исследователи. Еще крупнейший древнегреческий географ и путешественник Страбон в начале н.э. писал: «Озеро полно асфальта. От времени до времени асфальт извергается на поверхность из самой глубины с пузырьками, как будто происходит кипение воды. Поверхность воды, вздуваясь, получает вид холма. Вместе с асфальтом поднимается на поверхность большое количество похожей на дым копоти»<sup>1</sup>. Многие участки прибрежных долин покрыты ямами с черной слизистой смолой, а осадки интенсивно пропитаны асфальтом. Поднимаясь со дна, громадные глыбы асфальта, целые его острова, плавают на поверхности моря, большие куски широко распространены и на берегах (рис. 5). Систематическое описание разнообразных выходов нефти и битумов, их типов и масштабов приведено в работе Ф. Клаппа<sup>2</sup> – в одном из первых специальных геологических исследований региона. При этом Ф. Клапп неоднократно подчеркивает отчетливую связь интенсивности истечений с сейсмической активностью. Во время землетрясений асфальт буквально застывает поверхность моря. Издавна асфальт добывался в жидком и вязком виде с поверхности Мертвого моря и, особенно, – из копей, вскрывающих слои более древних излияний, которые возможно слагали сплошные покровы на поверхности моря. Асфальт употребляли, а порой употребляют и сейчас, для осмоления судов, вместо извести или цемента при кладке каменных стен и т.п. В окрестностях горы Седом и сегодня истечения асфальта цементируют даже современное русло водотока<sup>3</sup>.

Говоря о скоплениях асфальта на Мертвом море и о его наименовании «Асфальтовое», заметим, что для природы и то и другое – не такая уж редкость. Более того, по своему масштабу современные скопления асфальта на Мертвом море весьма серьезно уступают (правда, возможно, лишь из-за своей фрагментарной сохранности и обнаженности) наиболее знаменитым асфальтовым (нефтяным) озерам, возникавшим (и возникающим ныне) за счет интенсивных, иногда – фонтанирующих, излияний из недр. Таким как нефтяное озеро Пич-Лейк на о-ве Тринидад (т.е. тоже «Асфальтовое»: «пич» на языке индейцев – асфальт) – озеро движущегося дегтя, глубиной до 80 м, пополняемого поднимающимися снизу массами (рис. 5)<sup>4</sup>. Широко известны крупные нефтяные озера на о-ве Сахалин; многие сотни таких озер самого разного масштаба описаны на Ближнем Востоке, на побережьях Мексиканского залива, а также в Калифорнии, Азербайджане и других нефтегазоносных и соленосных регионах мира, где часто сочетаются с активным грязевым и соляным вулканизмом. Открыты и масштабные подводные асфальтовые излияния.

Наименование **Мертвое** ныне, по существу, «узаконено» на всех географических картах. Причина тому – отсутствие в рассолах видимой (макро) жизни. Из-за высочайших концентраций солей здесь не могут жить ни рыбы, ни другие макроорганизмы, нет ни макрофауны, ни макрофлоры. «Почти ни одно живое существо не водится в водах этого моря или на берегах его, и все вокруг него является мрачным, бесплодным и как бы омертвевшим. Из означенного громадного мрачного водохранилища поднимаются ядовитые испарения, убийственно действующие на всякую жизненную силу... На берегах его попадают нередко выброшенные рыбы и раковины, очевидно занесенные сюда водами Иордана и тотчас же умирающие, лишь только они попали в соленую воду моря»<sup>5</sup>. Ядовитые испарения, источники, запахи сероводорода препятствуют заселению даже прибрежных областей. Берега преимущественно пустынные, лишь с редкими оазисами. Отсюда и неизменные эпитеты: место странное, мрачное, завораживающее, а то и – зловещее.

И все же название «Мертвое» во многом несправедливо (как несправедливо и название «белая смерть» для такого замечательного вещества как соль, без которого, по сути, нет и жизни. Мертвое море вовсе не безжизненно. Жизнь (пусть только ее микро- и даже наноформы) здесь «кишит». В рассолах установлено несколько видов солелюбивых бактерий и микроводорослей; их поверхностный слой содержит на 1 м<sup>3</sup> воды 8,9 × 10<sup>6</sup> красных галофильных бактерий и 4 × 10<sup>4</sup> багряных жгутиковых водорослей *Dunaliella*. В последние годы обнаружено около 70 видов оомицетов и высших грибов<sup>6</sup>. Бактериальными сообществами переполнены донные грязи и циано-бактериальные маты, выстилающие многие участки дна<sup>7</sup>. И еще – разнообразные и высокоэффективные лечебные свойства Мертвого моря делают его «источником жизни», одной из наиболее популярных мировых здравниц. Сама соль считается естественным антидепрессантом; она усиливает аппетит, улучшает настроение, повышает артериальное давление... Рассолы с высокими концентрациями множества целебных компонентов и микрокомпонентов (нередко превышающих необходимые лечебные, а порой и допустимые нормы), прибрежные и донные осадки черной «грязи», также обогащенные редкими минеральными и органическими компонентами, большое количество источников термальных и сероводородных вод – все вместе способствуют избавлению от всевозможных хронических и даже неизлечимых болезней. Целебное воздействие усиливает жаркий и сухой климат (осадков 50–100 мм в год). Но особенно – уникальный микроклимат озера и его воздух: чрезвычайно сухой (дополнительно «подсушенный» солью – известным активным поглотителем влаги), насыщенный солями и бромом (на порядок больше, чем в любом другом месте планеты). Вместе они обладают сильнейшим успокаивающим терапевтическим эффектом, положительно влияя на нервную систему.

Сочетание лечебных грязей, рассолов, солнца, воздуха (правда, всех их – нередко в чрезмерных дозах, на грани отравления; ведь и для самой соли зазор между ее дозами – жизненно необходимой для организма и смертельной – составляет всего каких-то 25–30 грамм!) оказывается благодатным для организма и применяется при лечении множества заболеваний – от туберкулеза и псориаза до «простой» бессонницы. Все это сделало Мертвое море всемирно известным оздоровительным и даже оживляющим лечебным местом.

Ну и, кроме того, напряженная и высокоинтенсивная внутренняя «жизнь» самих недр, в любой момент

<sup>1</sup> Цит. по: Барашков А.И. Катастрофы Ветхого Завета. Гибель Содом и Гоморры // Знак вопроса. 1991. № 10. С. 25.

<sup>2</sup> Clapp F.G. Op. cit.

<sup>3</sup> Гилат А. Содом и Гоморра...

<sup>4</sup> Леворсен А. Геология нефти и газа. М.: Мир. 1970. 640 с.; Википедия

<sup>5</sup> Библийская Энциклопедия... С. 70.

<sup>6</sup> Long-Term Changes in the Dead Sea...

<sup>7</sup> Большая советская энциклопедия: В 30 т. М.: Советская энциклопедия, 1969–1978; Atlas of Israel...

способных к разрядке, составляет важнейшую черту Мертвого моря. Об активной сейсмоструктурной и флюидодинамической «жизни» и ее проявлениях уже упоминалось и подробнее речь еще пойдет ниже.

Так что по очень многим и столь разным показателям Мертвое море скорее чрезвычайно «живое» и уж во всяком случае «живительное».

В дополнение к разнообразию известных наименований-эпитетов, Мертвое море можно бы назвать еще и «Серным». Прежде всего, за его реальные «вещественные» серные проявления: многочисленные горячие серные источники, особенно частые на западном берегу Мертвого моря (имя Зохар – Серный – носит один из таких крупных источников к северу от горы Седом<sup>1</sup>); источники сероводорода, устойчивый «запах серы», усиливающийся во время землетрясений; усеивающие берега крупные куски серы самородной, нередко черной от пропитывающей ее нефти<sup>2</sup>; древние серные копи; в водах Мертвого моря – сероводород, от которого чернеет медь, серебро, все блестящие предметы и даже золото (о чем писал Страбон) и т.д. Но больше всего – за легендарный, художественно воплощенный «серный огонь» от Господа – «дождь серы и огня», «пролившийся» на грешные города Мертвого моря, запечатленный также в знаменитом символе библейской Содомской катастрофы – серно-соляном столпе «Жена Лота». С ним же связано и еще одно название – «море Лота» (иногда – Содомское), о чем речь также пойдет отдельно. Вспомним только в этой связи, что и питающая Мертвое море р. Иордан, при своих весьма небольших размерах, едва ли не самая известная в мире река. Удивительный природный тандем: рассольное Мертвое море и питающая его святая пресная река. А еще рядом – пресное Тивериадское озеро... И контролирует их всех трансконтинентальная сдвиговая зона.

Вот такое многоликое море: соляные диапиры, рассолы, асфальт, сероводород, сера... Весьма своеобразна и контрастная гамма цветов: белый (соль, гипс, арагонит), черный (грязи, асфальт), ярко желтый (сера самородная). И все это – Мертвое море – сложная многокомпонентная «галофильная аномалия», локализованная в границах грабеновой структуры, контрастно выделяющаяся среди окружающих геологических образований.

Если теперь сопоставить перечисленные важнейшие особенности Мертвого моря (высочайшую минерализацию рассолов и их состав, аномально высокие содержания К, Вг, Мг и других микрокомпонентов, обогащенность углеводородами и сероводородом, нефтегазопоявления и т. д.), а также его разнообразные названия и эпитеты, то легко увидеть, что они близки комплексу довольно типичных поверхностных (и приповерхностных) проявлений восходящих разгрузок единого внутриграбенового источника – углеводородно-рассольно-соляных систем недр. При этом сами они могут служить прямыми или косвенными свидетельствами наличия такого источника в недрах и их повышенной флюидодинамической активности.

Именно на эти аспекты многих наиболее «знаменитых» особенностей Мертвого моря – как комплекса природных проявлений активности соленосных систем недр – мы хотели обратить внимание, предварив их описанием обсуждение вопросов генезиса выполняющих грабеновую структуру солей, перекрывающих их рассолов, разнообразных эффектов влияния их активной жизни на приповерхностную геологическую среду, а также отражение в мифах и легендах. Этим вопросам будут посвящены следующие части.

*Продолжение следует*

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Анциферов А.С. Ресурсы уникальных хлор-кальциевых рассолов Сибирской платформы и проблемы их освоения // Разведка и охрана недр. 2004. № 89. С. 30–32.  
Antsiferov A.S. (2004). Resursy unikal'nykh khlor-kal'tsievnykh rassolov Sibirskoi platformy i problemy ikh osvoeniya. Razvedka i okhrana neдр. N 89. Pp. 30–32
- 2 Барашков А.И. Катастрофы Ветхого Завета. Гибель Содома и Гоморры // Знак вопроса. 1991. № 10. С. 23–29.  
Barashkov A.I. (1991). Katastrofy Vetkhogo Zaveta. Gibel' Sodoma i Gomorry. Znak voprosa. N 10. Pp. 23–29.
- 3 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: Litogeo-dinamika i minerageniya osadochnykh basseinov. Pod red. A.D.Sheglova. Izd-vo VSEGEI, S-Peterburg. Pp. 220–320.
- 4 Беленицкая Г.А. Соленосные осадочные бассейны. Литолого-фациальный, геодинамический и минерагенический анализ // Осадочные бассейны России. Вып. 4. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 72 с.  
Belenitskaya G.A. (2000). Solenosnye osadochnye basseiny. Litologo-fatsial'nyi, geodinamicheskii i mineragenicheskii analiz. In: Osadochnye basseiny Rossii. Vyp. 4. Izd-vo VSEGEI, S-Peterburg. 72 p.
- 5 Беленицкая Г.А. Соляная тектоника // Энциклопедический справочник «Планета Земля». Гл. ред. Л.И. Красный. Т. 2: Тектоника и геодинамика. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2004. С. 354–375.  
Belenitskaya G.A. (2004). Solyanaya tektonika. In: Entsiklopedicheskii spravochnik «Planeta Zemlya». Gl. red. L.I. Krasnyi. T. 2: Tektonika i geodinamika. Izd-vo VSEGEI, S-Peterburg.. Pp. 354–375.
- 6 Беленицкая Г.А. Минерагения соленосных бассейнов мира // Энциклопедический справочник «Планета Земля». Гл. ред. Л.И. Красный. Т. 1: Минерагения. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2008. Кн. 1. С. 165–189.  
Belenitskaya G.A. (2008). Minerageniya solenosnykh basseinov mira. In: Entsiklopedicheskii spravochnik «Planeta Zemlya». Gl. red. L.I. Krasnyi. T. 1: Minerageniya. Izd-vo VSEGEI, S-Peterburg. Kn. 1. Pp. 165–189.
- 7 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 tsenry nadezhd i ugroz (na primere basseina Meksikanskogo zaliva). Prostranstvo i Vremya. N 3(9). Pp. 193–207.
- 8 Библийская Энциклопедия. Изд. Свято-Троице-Сергиевской Лавры. 1990. 904 с.  
Bibleiskaya Entsiklopediya. Izd. Svyato-Troitse-Sergievskoi Lavry. 1990. 904 p.
- 9 Верба М.Л. Библийские легенды глазами геолога: Исторические и геологические свидетельства современного рифтогенеза. СПб.: Наука. 2008. 175с.  
Verba M.L. (2008). Bibleiskie legendy glazami geologa: Istoricheskie i geologicheskie svidetel'sta sovremennogo riftogeneza. Nauka, S-Peterburg.. 175 p.

<sup>1</sup> Bentor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age...

<sup>2</sup> Clapp F.G. Op. cit.

- 10 Бейли В. Проблема Мертвого моря (рифтовая или рамповая долина) / Пер. с англ. Под ред. Н.С. Шатского. Л.: НКТП. 1934. 56 с.  
Beili V. (1934). Problema Mertvogo morya (riftovaya ili rampovaya dolina). Per. s angl. Pod red. N.S. Shatskogo. NKTP, Leningrad. 56 p.
- 11 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 zemletryaseniem? In: Degazatsiya Zemli: geotektonika, geodinamika, geoflyuidy; nef't' i gaz; uglevodorody i zhizn'. GEOS, Moskva. Pp.112–114.
- 12 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.
- 13 Колман Р. Красное море: малый океанический бассейн, образованный континентальным растяжением и спредингом морского дна // Докл. 27 МГК. М. 1984. Т. 6. Ч. II. С. 58–73.  
Kolman R. (1984). Krasnoe more: malyy okeanicheskii bassein, obrazovannyi kontinental'nyim rastyazheniem i spredingom morskogo dna. In: Dokl. 27 MGK. Moskva. T. 6. Ch. II. Pp. 58–73.
- 14 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., Adzhamyany Zh. (1994). Deformatsii zapada Araviiskoi plity kak rezul'tat sdvigovykh peremeshchenii po Levantskomu razlomu. Geotektonika. N 3. Pp. 52–65.
- 15 Леворсен А. Геология нефти и газа. М.: Мир. 1970. 640 с.  
Levorsen A. (1970). Geologiya nef'ti i gaza. Mir, Moskva. 640 p.
- 16 Лунина О.В. Разрывные системы и поля напряжений южной части рифта Мертвого моря // Геотектоника. 2005. № 2. С. 52–65.  
Lunina O.V. (2005). Razryvnyye sistemy i polya napryazhenii yuzhnoi chasti rifta Mertvogo morya. Geotektonika. N 2. Pp. 52–65.
- 17 Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. Рифтогенез на древних платформах. М.: Недра. 1987. 280 с.  
Milanovskii E.E. (1987). Riftogenez v istorii Zemli. Riftogenez na drevnikh platformakh. Nedra, Moskva. 280 p.
- 18 Обстановки осадконакопления и фации. Под ред. Х.Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 351 с. Т. 2. 381 с.  
Obstanovki osadkonakopleniya i fatsii. Pod red. H.Redinga. Mir, Moskva. 1990. T. 1. 351 p. T. 2. 381 p.
- 19 Основы гидрогеологии. Использование и охрана подземных вод. Отв. ред. Н.А. Маринов, Е.В. Пиннекер. Новосибирск: Наука. 1983. 231 с.  
Osnovy gidrogeologii. Ispol'zovanie i okhrana podzemnykh vod. Otv. red. N.A. Marinov, E.V. Pinneker. Nauka, Novosibirsk. 1983. 231 p.
- 20 Опарин А.А. Древний мир и библейская археология. Харьков: Факт, 2004.  
Oparin A.A. (2004). Drevnii mir i bibleiskaya arkheologiya. Fakt, Khar'kov.
- 21 Опарин А.А. Ключи истории. Археологическое исследование книги Бытие. Харьков: Факт, 2003.  
Oparin A.A. (2003). Klyuchi istorii. Arkheologicheskoe issledovanie knigi Bytie. Fakt, Khar'kov.
- 22 Пикар Л. Некоторые соображения о системе грабенов Леванта // Система рифтов Земли. М.: Мир. 1970. С. 26–34.  
Pikar L. (1970). Nekotorye soobrazheniya o sisteme grabenov Levanta. In: Sistema riftov Zemli. Mir, Moskva. Pp. 26–34.
- 23 Сокол Э.В., Новиков И.С., Вапник Е., Шарыгин В.В. Горение газов грязевых вулканов как причина возникновения высокотемпературных пирометаморфических пород формации Хатрурим (район Мертвого моря) // ДАН. 2007. Т. 413. № 6. С. 803–809.  
Sokol E.V., Novikov I.S., Vapnik E., Sharygin V.V. (2007). Gorenje gazov gryazevykh vulkanov kak prichina vozniknoveniya vysokotemperaturnykh pirometamorficheskikh porod formatsii Khatrurim (raion Mertvogo morya). DAN. T. 413. N 6. Pp. 803–809.
- 24 Трифонов В.Г., Караханян А.С. Геодинамика и история цивилизаций. М.: Наука. 2004. 665 с.  
Trifonov V.G., Karakhanyan A.S. (2004). Geodinamika i istoriya tsivilizatsii. Nauka, Moskva. 665 p.
- 25 Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Вып. 4. Альпийский Средиземноморский пояс. М.: Недра. 1984. 344 с.  
Khain V.E. (1984). Regional'naya geotektonika. Vyp. 4. Al'piiskii Sredizemnomorskii poyas. Nedra, Moskva. 344 p.
- 26 Хаин В.Е., Короновский Н.В. Геомифология – новое направление в науке // Природа. 2009. № 4. С. 9–17.  
Khain V.E., Koronovskii N.V. (2009). Geomifologiya – novoe napravlenie v nauke. Priroda. N 4. Pp. 9–17.
- 27 Яншин А.Л., Жарков М.А. Фосфор и калий в природе. Новосибирск: Наука, 1986. 191 с.  
Yanshin A.L., Zharkov M.A. (1986). Fosfor i kalii v prirode. Nauka, Novosibirsk. 191 p.
- 28 Atlas of Israel: cartography, physical geography, human and economic geography, history. Jerusalem: Survey of Israel, Ministry of Labour and Amsterdam, Elsevier. (English). 1970.
- 29 Bendor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 1961. Vol. 25. Pp. 239–260.
- 30 Bendor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region. *The Geological Soc. of America. Spec.Paper*. 1968. Pp. 139–156.
- 31 Clapp F.G. Geology and Bitumens of the Dead Sea Area, Palestine and Transjordan. *Bull. AAPG*. 1936. Vol. 20. Iss. 7. Pp. 881–909
- 32 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 (Hatrurim formation). *Geol. Surv. Israel. Curr. Res*. 1998. Vol. 11. Pp. 96–102.
- 33 Khesin B. Mineral resources of Israel and possibilities of their geophysical prospecting. *Scientific issues of "Scientists of the South Association"*. 2005. Iss. 4. Pp. 3–18.
- 34 Long-Term Changes in the Dead Sea. *Israel Marine Data Center (ISRAMAR)*. 2011.
- 35 Neev D., Emery K.O. The Dead Sea depositional processes and environments of evaporates. *Jerusalem*. 1967. 148 p.
- 36 Omara S. Diapiric structures in Egypt and Syria. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol*. 1964. Vol. 48. N 7. Pp. 1116–1125.
- 37 Shalev E., Lyakhovsky V., Yechieli Y. Is advective heat transport significant at the Dead Sea basin? *Geofluids*. 2007. N 7. Pp. 292–300.
- 38 Tectonics of Sedimentary Basins: From Crustal Structure to Basin Fill. *Tectonophysics*. Vol. 346. N 1–2. 2002. 180 p.
- 39 The Dead Sea Rift. Eds. R. Freundt, Z. Garfunkel. *Tectonophysics. Special issue*. Vol. 80. N 1–4. 1981. 307 p.
- 40 Zak I., Bendor 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). Pp. 137–144.