

УДК 502/504:332.142.6:626.13



Танклевский М.М.

Мертвое море: время отдавать долги

Танклевский Михаил Маркович, доктор технических наук, главный ученый ассоциации «Ученые Юга» (Димона, Израиль)

E-mail: michtank@mail.ru

Мертвое море находится на грани экологической катастрофы по вине человека. И долг человечества – сохранить пространство Мертвого моря в качестве уникального природного образования. Автор предлагает свой план спасения уникального объекта природного наследия. Отмечается необходимость привлечения внимания научной общественности к судьбе Мертвого моря.

Ключевые слова: Мертвое море, река Иордан, экологическая катастрофа, системный подход, гидротоннель.

Что происходит на пространстве Мертвого моря?



Israel Chemicals Ltd: общий вид (наверху) и отдельные корпуса компании. Фото с сайтов <http://www.potashcorp.com/about/facilities/investments/icl/> и <http://corporateoccupation.org/israel-opportunity-2010-a-chance-to-invest-in-apartheid/>

Мертвое море – уникальная часть пространства планеты Земля. Побережье – самое низкое место земной суши, здесь особый микроклимат, это одно из немногих мест в мире, где лечат псориаз. Рассол Мертвого моря имеет уникальный состав, в частности, содержание в нем брома выше, чем в любом другом водоеме планеты. Соленость воды – 28–32%, что примерно в 9 раз превышает соленость вод мирового океана. По этому показателю Мертвое море входит в число самых «солёных» больших водоемов мира. В фундаментальных исследованиях Г.А. Беленицкой¹ раскрыт ряд загадок его происхождения, таинственные проявления и всплески жизни его недр, в том числе и природные причины колебания уровня рассола². Но в последнее столетие в природные процессы вмешался Человек. По данным ежегодного отчета компании Israel Chemicals Ltd³ (со ссылкой на Office for Environmental Protection and the Jerusalem Institute of Research, 2006), из бассейна Мертвого моря, включая Кинерет, Иордан и его притоки, ежегодно изымается более 1,65 млрд куб. м воды, расходуемой на бытовые и производственные нужды Израиля, Иордании, Палестинской автономии, Сирии и Ливана. Только заводы упомянутой выше компании забирают 150 млн куб. м воды (9%) (отметим, что по другим данным, в настоящее время до 300 млн куб. м). 100 млн куб. м используют заводы иорданской калийной компании

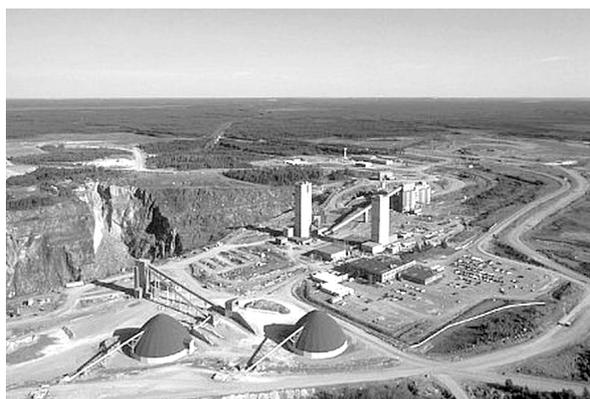
¹ Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 1. «Соленое чудо» планеты // *Пространство и Время*. 2013. № 2(12). С. 159–172; Часть 2. Происхождение и история развития солей, диапиров и рассолов Мертвого моря // Там же. № 3(13). С. 130–144; Часть 3. Колебания уровня рассолов как отражение жизни соленосных недр Мертвого моря и его аналогов // Там же. № 4(14). С. 163–175. Часть 4. Содомская «карательная акция» – соляной вулканизм // Там же. 2014. № 1(15). С. 216–227.

² "ICDP 2014 Training Course on Active Fault Zone Drilling, October 6–10, 2014 in New Zealand." *International Continental Scientific Drilling Program*. ICDP Office 2014, GFZ German Research Centre for Geosciences, n.d. Web. <<http://www.icdp-online.org/projects/world/asia/dead-sea/details/>>.

³ *Corporate Responsibility Report*. Israel Chemicals Ltd, 2012. PDF-file. <<http://repo.icl-group.com/Lists/ReportsManagement/other/Corporate%20Responsibility%20Report%202012.pdf>>.

The Arab Potash (6%). Уровень рассола в последние десятилетия понижается, в среднем, на метр в год, причем наблюдается тенденция увеличения этого показателя. Надежды на то, что с уменьшением площади моря испарение сократится настолько, что это приведет к некоторой стабилизации уровня, не оправдываются. Это можно объяснить, в частности, тем, что испарение воды продолжается и с бывшего морского дна, в том числе из-за наличия карстовых озер (рис. 1 цветной вкладки, с. 235), так и тем, что производится постоянный отбор рассола промышленными предприятиями. Естественно, что с уменьшением площади моря один и тот же изымаемый объем рассола приводит к большему падению уровня.

Площадь Мертвого моря в середине XX в. составляла 930 кв. км, включая северную, глубоководную, и южную, мелководную, часть, сообщавшиеся между собой и разграниченные полуостровом Лашон. С падением уровня рассола в северной части моря, полуостров Лашон, отделявший северную часть моря от южной, превратился в перешеек (рис. 2 цветной вкладки, с. 235). Площадь поверхности моря сократилась до 650 кв. км. В настоящее время рассол в южную часть моря перекачивается принудительно и приносит с собой соли, которые после испарения воды оседают на дно. Этот свежий слой соли в районе гостиниц, расположенных на западном берегу, достиг уже девяти метров, и ежегодно увеличивается на несколько десятков сантиметров. Вместе с подъемом дна повысился и уровень рассола, что грозит затоплением расположенных на берегу сооружений.



Иорданская компания The Arab Potash. Фото с сайта <http://arabianindustry.com/markets/news/2013/feb/17/jordans-arab-potash-profit-falls-by-a-third-4209855/#.VL0ERDCjz1g>



Соляные образования в районе гостиниц, расположенных на западном берегу Мертвого моря. Фото с сайтов <http://360travel.ru/kyrort/mertvoe-more/86.html> и <http://tectonicablog.com/?p=32964>

Сопоставим приведенные выше цифры. Для предотвращения дальнейшего падения уровня рассола нужно добавлять всего около половины того количества, что мы забираем! Таким образом, есть все основания считать, что процесс обмеления Мертвого моря в основном является антропогенным, а это значит, что природа самостоятельно вряд ли сможет справиться со столь мощным вторжением человека в веками установившиеся связи.

Казалось бы, все просто: прекратить забирать воду – и снижение уровня прекратится. Добавить 20–30 млрд куб. м – восстановится прежний уровень, и долг будет возвращен сполна, будут ликвидированы карстовые образования на бывшем дне моря. Но в реальном времени сделать это нереально (прошу простить за тавтологию). Региону не хватает пресной воды. По опубликованным недавно данным Европарламента, потребление воды в разных районах Израиля составляет от 17 до 70 литров в день при существующей научно обоснованной минимальной норме 100 литров¹. В других странах региона положение еще хуже. Проблема отчасти решается за счет строительства опреснительных установок, но их суммарную мощность в Израиле и Иордании предполагается довести к 2020 г. только до 1 млрд куб. м в год. И стоит опресненная вода дорого, более половины доллара за куб. м. После того, как сток реки Иордан, единствен-



Крупнейшая в Израиле опреснительная установка в Сореке с максимальной мощностью 150 млн куб. м воды в год (действует с 2013 г.). Фото с сайта <http://itbusinessweek.com/israel-desalination-plant/>

¹ См.: "Netanyahu: EU Parliament Head Has 'Selective Hearing'." *The Times of Israel*. 12 Feb. 2014. Web. <<http://www.timesofisrael.com/netanyahu-eu-parliament-head-has-selective-hearing/>>.

ной реки, впадающей в Мертвое море, уменьшился почти в 10 раз, не осталось другого пути сохранения моря, кроме как пополнения его морской водой.

Один из наиболее важных вопросов – как отразится добавление морской воды на солевом составе Мертвого моря. Известно, что этот состав уникален. Им определяются лечебные свойства воды и возможности функционирования прибрежных заводов. Расчет, проведенный на основе известных данных о составе воды Мертвого и Средиземного морей¹, показал, что в кубометре воды Мертвого моря содержится, приблизительно, в 10 раз больше ионов хлора, в 30 раз – магния, в 3,2 раза – натрия, в 36 раз – кальция, в 16 раз – калия и в 70 раз – брома, чем в кубометре средиземноморской воды. А вот количество сульфатов почти в 2 раза ниже. Всего в Мертвом море в растворенном виде содержится, по приближенным расчетам, около 50 миллиардов тонн солей. Если ежегодно добавлять по 600 млн кубометров морской воды, количество солей будет увеличиваться на 20 млн тонн, или на 0,04% в год. Возможно локальное образование небольшого количества гипса, но, скорее всего, его основное количество осядет на дно и не окажет существенного влияния на остальную часть водоема. Таким образом, нет оснований ожидать крупных неприятностей при добавлении морской воды в пределах того количества, которое необходимо для сохранения существующего уровня рассола. В то же время целесообразно продолжить соответствующие исследования, начатые заводами Мертвого моря, и, к сожалению, пока не давшие определенных результатов.

Если же попытаться восстановить прежний уровень моря, существовавший в прошлом столетии, то придется добавить, как отмечалось, 20–30 млрд куб. м морской воды, что может существенно сказаться на составе рассола Мертвого моря. Кроме того, для такой переброски необходимы дополнительные, очень большие расходы на строительство и эксплуатацию гидротехнических сооружений, которые окажутся неостребованными после заполнения моря. Нет и гарантий того, что уже не произошли необратимые изменения, и возврат к прежнему состоянию невозможен. Поэтому представляется наилучшим решением удовлетвориться тем уровнем рассола, который существует сейчас, когда испарение воды с поверхности моря уже уменьшилось, но есть еще возможность обустроить прибрежную территорию и стабилизировать положение, в том числе обуздать развитие карстовых явлений². Такая стабилизация уровня моря нужна и для смягчения тектонических явлений в этом сейсмоопасном районе. Нами предложены соответствующие решения, включающие, в числе других, и создание искусственных соляных пластов на бывшем дне Мертвого моря³.

Нужен системный подход, поиск разумных компромиссов

Должник оказался не вполне состоятельным – возратить долг в полном объеме практически невозможно, а требовать невозможного бесполезно. Создалась новая реальность, можно полагать, что происходят или уже произошли необратимые изменения экологической системы Мертвого моря, которые должны послужить предметом специальных исследований. Для решения проблемы нужен системный подход: не упуская из виду главную цель – сохранение Мертвого моря как уникального природного объекта, – в то же время учитывать реальные возможности и необходимость продолжения нормального функционирования промышленных предприятий и лечебно-туристических учреждений.

Экологическая система Мертвого моря является сложной системой, как по существу, поскольку зависит от большого числа различных разнонаправленных факторов, так и с точки зрения системного анализа, так как может рассматриваться в рамках соответствующей экономико-математической модели как результат взаимодействия ряда подсистем, направленных на достижение определенных целей, имеющих обычно и собственное значение.

Системный подход предполагает комплексное решение задач, связанных с достижением поставленной цели, с учетом максимально возможного числа факторов, ранжирование целей с выделением основной цели, для достижения которой создана и функционирует система, и подцелей различного ранга, достижение которых способствует повышению эффективности достижения основной цели. В рамках подсистем могут ставиться локальные цели, являющиеся главными для данной подсистемы. Например, целевая функция экономико-математической модели системы «Спасение Мертвого моря» может быть выражена следующим образом:

$$E = f(E_1 \dots E_i \dots E_n) \rightarrow \max,$$

где E_i – эффективность подсистем,

n – число рассматриваемых подсистем.

Могут быть рассмотрены такие подсистемы, как система обеспечения лечебных свойств воды, свойств воды как сырья для заводов (должна быть обеспечена максимальная эффективность), капиталовложения, величина эксплуатационных расходов, время, необходимое для введения в действие системы (целью является достижение минимальных значений), другие подсистемы. Каждой из этих подсистем соответствует своя целевая функция, определяющая главную цель ее функционирования.

Должны учитываться условия, при которых должна функционировать система, в частности:

$$\begin{aligned} H &\rightarrow \text{opt}; \\ S &\rightarrow \text{opt}, \end{aligned}$$

где H – уровень моря,

S – обустройство прибрежной территории.

¹ Steinhorn I. "In Situ Salt Precipitation at the Dead Sea." *Limnol. Oceanogr.* 28.3 (1983): 580–583.

² Ezersky M., Legchenko A., Camerlynck C., Al-Zoubi A., Eppelbaum Lev, Keydar S. Boucher M., Chalikal K. "The Dead Sea Sink-hole Hazard – New Findings Based on a Multidisciplinary Geophysical Study." *Zeitschrift für Geomorphologie* 54.2 (2010): 69–90

³ Танклевский М.М. Как сохранить Мертвое море // Научная конференция «Исследования в области прикладных наук» (Researches in the Field of Applied Sciences). Сб. трудов. Арад, Израиль, 2013. С. 9–15.

Ограничения, в том числе:

$$\lim \sum_1^m K_i = K,$$

где K – предельная величина капиталовложений,
 K_i – капиталовложения по отдельным направлениям;
 m – общее число направлений;

$$L \geq L_0,$$

где L – лечебная эффективность воды после проведения мероприятий,
 L_0 – существующая лечебная эффективность воды.

Естественно, могут быть рассмотрены и другие условия и ограничения.

Следует обратить внимание на важность ранжирования целей. Если главная цель функционирования системы подменяется целью низшего ранга, может исказиться их соотношение, и главная цель окажется недостижимой. За примерами далеко ходить не надо. Соглашение, подписанное Израилем, Иорданией и Палестинской автономией при участии Всемирного банка в декабре 2013 г.¹, первоначально имело целью спасение Мертвого моря. Но затем акценты сместились, и в окончательном варианте в качестве главной цели выступает получение опресненной воды, а спасение Мертвого моря отступило на второй план. В ряде известных проектов спасения моря в качестве главной цели ставится задача получения максимального количества электроэнергии, даже ценой нанесения ущерба экологической системе Мертвого моря. Перечисление при- меров можно было бы продолжить.

Вывод: система, которая будет предложена для спасения Мертвого моря, должна обеспечить сохранение его свойств и свойств окружающего пространства, определяющих их существование как уникальных природных объектов, с использованием доступных обществу средств. Должны быть созданы и максимально благоприятные условия для продолжения функционирования промышленных предприятий и лечебно-туристического комплекса. Для этого, возможно, придется отказаться от сохранения некоторых показателей (например, уровня рассола), которые могут быть отнесены к второстепенным. Стремление же к полному возрождению прошлого (в том числе требование восстановить поступление в море пресной воды в прежнем количестве), может обернуться практически бездействием, что фактически и наблюдается в наше время.

Что предлагается?

С учетом изложенного предлагается соорудить сдвоенный водовод из Средиземного моря (район Сихрон-Яаков – Атлит) через Израильскую долину и русло реки Иордан к Мертвому морю (рис. 3, цветной вкладки, с. 235).

Водовод обеспечивает отдельную подачу морской и опресненной воды. Поток опресненной воды начинается на искусственном острове, на котором размещают опреснительные установки. Далее вода следует по наклонному самотечному тоннелю длиной в 52 км до русла ручья Харод (юго-восточнее Афулы, Израиль), наполняет ручей и продолжает свой путь по руслу реки Иордан до Мертвого моря. Возможен и другой вариант: на начальном участке пути устанавливают напорный трубопровод, поднимающий поток воды, примерно, на 100 м. Это позволяет сократить длину тоннеля до 13 км, что существенно снижает стоимость и сроки строительства, но, естественно, требует установки и постоянной работы насосов. Что выгоднее, должно показать дальнейшее рассмотрение проблемы. Морская вода засасывается с некоторой глубины (для обеспечения ее чистоты) и подается по второму тоннелю, проложенному параллельно первому в непосредственной близости от него. От тоннеля прокладывают самотечный трубопровод вдоль русла (или по самому руслу) ручья и реки Иордан. Для снижения и так незначительной вероятности образования гипса в поверхностных слоях Мертвого моря, водовод со средиземноморской водой заканчивают в глубине моря. При установке напорного трубопровода до тоннеля протягивают две нитки (или большее их число), по которым перекачивают, соответственно, опресненную или морскую воду.

Принципиально новым в предложенном решении является наличие двух отдельных водоводов для опресненной и морской воды. Это позволяет регулировать поступление опресненной воды в Иордан и Мертвое море в зависимости от возможностей ее получения, с компенсацией до общего необходимого уровня за счет морской воды. Отметим еще раз, что дефицит пресной воды в регионе сохранится и в обозримом будущем, и не следует непременно стремиться к подаче ее в Мертвое море в количестве, превышающем потребности восстановления реки Иордан. В Иордан же подавать морскую воду нельзя, поскольку это может привести к засолению плодородных почв Иорданской долины.

Есть еще доводы в пользу направления в Мертвое море двух отдельных потоков воды – опресненной по руслу реки Иордан и морской по параллельному трубопроводу. Помимо испарения пресной воды с поверхности, море теряет и некоторое количество солей, выпадающих в осадок. В основном это поваренная соль, имеющая меньшую растворимость, чем другие соли, входящие в состав рассола Мертвого моря. Кроме того, часть солей забирают предприятия. Возможно, некоторое количество средиземноморской воды, солевой состав ко-

¹ "World Bank Statement on Water Sharing Agreement signed by Israeli, Jordanian and Palestinian Representatives." *The World Bank*. The World Bank Group, 18 Dec. 2013. Web. <<http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2013/12/18/clarification-water-sharing-agreement-israeli-jordanian-palestinian-representatives>>; "Historic' Water Deal Signed by Israel, Jordan and Palestinians." *Red Sea Dead Sea Project*. The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, 29 Dec. 2013. Web. <<http://www.jva.gov.jo/sites/en-us/RSDS/SiteAssets/new3.aspx>>; Zawahri N., Weinthal E. "The World Bank and Negotiating the Red Sea and Dead Sea Water Conveyance Project." *Global Environmental Politics* 14.4 (2014): 55–74.

торой на три четверти представлен поваренной солью, окажется полезным для Мертвого моря. А для опресненной воды всегда найдется применение: будет вода, – будут новые оазисы в пустыне, новые парки, повысится уровень жизни. Но если все же появится избыток пресной воды, или, наоборот, возникнут обстоятельства, при которых подача опресненной воды окажется невозможной, или же опыт покажет, что морскую воду подавать больше нежелательно, система позволит приспособиться к новым обстоятельствам.

Анализ предложенного решения дает основания считать его единственным вариантом, отвечающим поставленным требованиям при системном подходе. Решается проблема сохранения уровня Мертвого моря и возрождения былого величия реки Иордан при оптимальном уровне капитальных затрат, минимальных эксплуатационных расходах и минимальном нарушении сложившейся экологической системы. Не нарушается экологический баланс озера Кинерет. Не создается помех работе предприятий. Система обладает гибкостью, может перестраиваться без дополнительных затрат при изменении внешних условий.

Перечисленные достоинства системы, казалось бы, дают достаточно оснований для ее внимательного рассмотрения, как возможного направления решения актуальной проблемы общечеловеческого значения. Но пока этого не происходит. Мертвое море медленно угасает, а реальных попыток остановить этот процесс не предпринимается. Хочется надеяться, что эта публикация в какой-то мере поможет привлечь внимание научной общественности к сохранению уникального природного пространства – Мертвого моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 1. «Соленосное чудо» планеты // *Пространство и Время*. 2013. № 2(12). С. 159–172.
2. Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 2. Происхождение и история развития солей, диапиров и рассолов Мертвого моря // *Пространство и Время*. 2013. № 3(13). С. 130–144.
3. Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 3. Колебания уровня рассолов как отражение жизни соленосных недр Мертвого моря и его аналогов // *Пространство и Время*. 2013. № 4(14). С. 163–175.
4. Беленицкая Г.А. Мертвое море: геология, происхождение, мифы. Часть 4. Содомская «карательная акция» – соляной вулканизм // *Пространство и Время*. 2014. № 1(15). С. 216–227.
5. Танклевский М.М. Как сохранить Мертвое море // Научная конференция «Исследования в области прикладных наук» (Researches in the Field of Applied Sciences). Сб. трудов. Арад, Израиль, 2013. С. 9–15.
6. Al-Hanbali A., Kondoh A. "Groundwater Vulnerability Assessment and Evaluation of Human Activity Impact (HAI) within the Dead Sea Groundwater Basin, Jordan." *Hydrogeology Journal* 16.3 (2008): 499–510.
7. *Corporate Responsibility Report*. Israel Chemicals Ltd, 2012. PDF-file. <<http://repo.icl-group.com/Lists/ReportsManagement/other/Corporate%20Responsibility%20Report%202012.pdf>>.
8. Ezersky M., Legchenko A., Camerlynck C., Al-Zoubi A., Eppelbaum Lev, Keydar S. Boucher M., Chalikal K. "The Dead Sea Sinkhole Hazard – New Findings Based on a Multidisciplinary Geophysical Study." *Zeitschrift fur Geomorphologie* 54.2 (2010): 69–90.
9. Frumkin A., Ezersky M., Al-Zoubi A., Akkawi E., Abueladas A.R. "The Dead Sea Sinkhole Hazard: Geophysical Assessment of Salt Dissolution and Collapse." *Geomorphology* 134.1 (2011): 102–117.
10. Ghazleh S.A., Abdulkader M.A., Kempe S. "The Dramatic Drop of the Dead Sea: Background, Rates, Impacts and Solutions." *Macro-Engineering Seawater in Unique Environments*. Berlin and Heidelberg: Springer, 2011, pp. 77–105.
11. "Historic' Water Deal Signed by Israel, Jordan and Palestinians." *Red Sea Dead Sea Project*. The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, 29 Dec. 2013. Web. <<http://www.jva.gov.jo/sites/en-us/RSDS/SiteAssets/new3.aspx>>.
12. "ICDP 2014 Training Course on Active Fault Zone Drilling, October 6–10, 2014 in New Zealand." *International Continental Scientific Drilling Program*. ICDP Office 2014, GFZ German Research Centre for Geosciences, n.d. Web. <<http://www.icdp-online.org/projects/world/asia/dead-sea/details/>>.
13. Monitoring of the Dead Sea. *Israel Oceanographic & Limnological Research*. N.p., n.d. Web. <<http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/DeadSea/>>.
14. "Netanyahu: EU Parliament Head Has 'Selective Hearing'." *The Times of Israel*. 12 Feb. 2014. Web. <<http://www.timesofisrael.com/netanyahu-eu-parliament-head-has-selective-hearing/>>.
15. Oroud I.M. "Evaporation Estimates from the Dead Sea and Their Implications on Its Water Balance." *Theoretical and Applied Climatology* 106.3–4 (2011): 523–530.
16. Steinhorn I. "In Situ Salt Precipitation at the Dead Sea." *Limnol. Oceanogr.* 28.3 (1983): 580–583.
17. "World Bank Statement on Water Sharing Agreement signed by Israeli, Jordanian and Palestinian Representatives." *The World Bank*. The World Bank Group, 18 Dec. 2013. Web. <<http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2013/12/18/clarification-water-sharing-agreement-israeli-jordanian-palestinian-representatives>>.
18. Zawahri N., Weinthal E. "The World Bank and Negotiating the Red Sea and Dead Sea Water Conveyance Project." *Global Environmental Politics* 14.4 (2014): 55–74.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11—2011:

Танклевский, М. М. Мертвое море: время отдавать долги / М.М. Танклевский // *Пространство и Время*. — 2014. — № 4(18). — С. 230—235. Стационарный сетевой адрес: [адрес: 2226-7271provst_st4-18.2014.103](http://2226-7271provst_st4-18.2014.103)

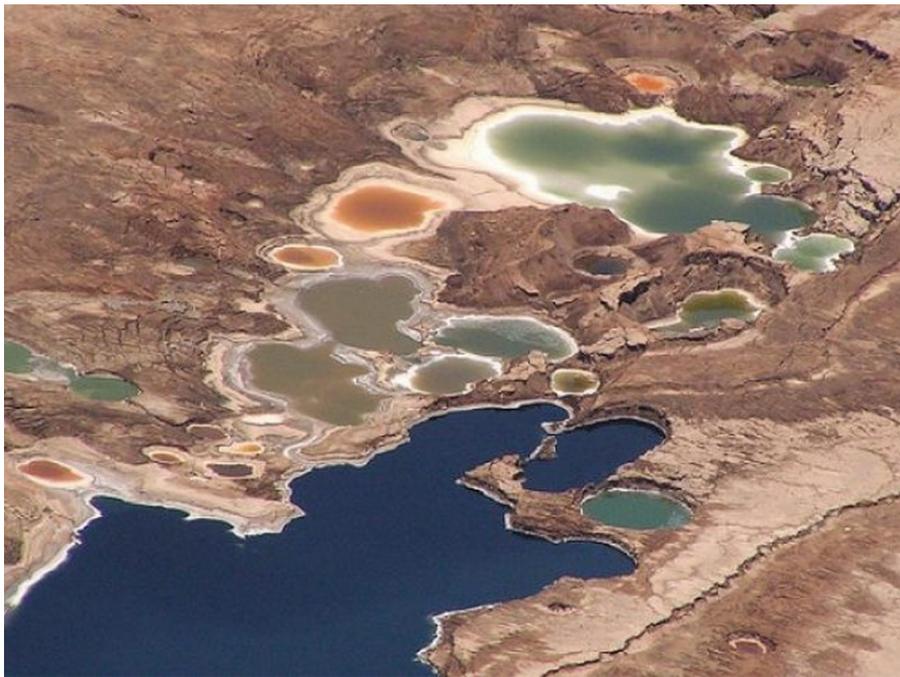


Рис. 1. Карстовые озера у берегов Мертвого моря.
 Фото с сайта http://marciocandido2013.blogspot.ru/2014_01_01_archive.html



Рис. 2. Южная часть Мертвого моря отделена от северной перешейком Лашон (следствие понижения уровня Мертвого моря). Спутниковая фотография 1989 г., выполнена Space Shuttle Columbia (STS-28).
 С сайта http://en.wikipedia.org/wiki/Dead_Sea#mediaviewer/File:STS028-96-65.jpg



Рис. 3. Схема предлагаемого двухпоточного водовода:
 1 – опресненная вода; 2 – морская вода