

## Обзор состояния Мертвого моря

Д-р Семен Розенберг 0524 854 666, [semyon.rozenberg@gmail.com](mailto:semyon.rozenberg@gmail.com)

Научно-техническая ассоциация «Экологический императив»

### **Аннотация**

В статье представлен анализ уровня Мертвого моря после реализации различных известных проектов «Спасения Мертвого моря». Анализ проведен на основании исследований скрытой теплоты испарения соляных растворов, многолетних измерений энергии солнечного облучения, исследований уровня моря почти за 1000 лет, спутниковых измерений температуры поверхности воды, сведений, опубликованных Израильскими и Иорданскими Заводами Мертвого моря и др. При анализе использованы осреднения, экстраполяция и допущения в связи с недостаточным объемом экспериментальных данных. Анализ показал в частности, что площадь северного бассейна сократится до 350 км<sup>2</sup>, если ни один из проектов не будет реализован. Если будет реализован какой-либо проект, то уровень моря будет подниматься до стабильного уровня в течение нескольких десятков лет. Экспериментальные измерения взамен осреднений, экстраполяции и допущений позволят получить и более точный прогноз судьбы моря, и определить оптимальный уровень моря, и оптимальный объем подаваемой воды для пополнения моря, а также, соответственно, размеры туннелей, мощности насосных станций и т.д.

### ***Проекты помощи Мертвому морю не реализуются.***

Уровень воды в северном бассейне Мертвого моря понижается в последние годы на 1 м. Причина – испарение воды с поверхности моря превышает поступление воды от дождей, из реки Иордан, из впадающих ручьев и подземных источников. Уровень воды в юго-восточном и юго-западном бассейнах на 20 м выше, чем в северном бассейне, и поддерживается насосами, перекачивающими воду из северного бассейна. Воду перекачивают Израильские и Иорданские Заводы Мертвого моря.

Уже более 20 лет предлагают различные варианты Проектов помощи Мертвому морю. Некоторые авторы доложили о проектах на конференциях, состоявшихся 24.10.2012 в Иерусалиме и 15.11.2012 в Реховоте. К сожалению решения конференций не опубликованы. В Проектах предлагается пополнять северный бассейн Мертвого моря либо водой из Красного моря, водой из Средиземного моря, опресненной водой, «родной» водой из реки Иордан, «родной» водой за счет уменьшения испарения воды с поверхности северного бассейна с помощью «плавающей крыши» [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7].

1. В настоящее время ни один из Проектов не реализуется.

1.1. Рассмотрим судьбу моря в этом случае. По спутниковым фотографиям сайта Планета Земля по состоянию на апрель 2011 площадь северного бассейна Мертвого моря составляла  $624 \text{ км}^2$ , площадь юго-западного (Израильского) бассейна  $145 \text{ км}^2$  и юго-восточного (Иорданского) бассейна  $113 \text{ км}^2$ . По состоянию на октябрь 2011 площади следующие: северный бассейн  $603 \text{ км}^2$ , юго-западный бассейн  $141 \text{ км}^2$ , юго-восточный бассейн  $105 \text{ км}^2$ . Площадь северного бассейна в конце 2009 составляла  $637 \text{ км}^2$  (Fig. 2 из[8]).

Заводы Иорданского юго-восточного бассейна Arab Potash Corporation [9] используют следующую технологию извлечения солей. Из северного бассейна перекачивают 250-300 млн.  $\text{м}^3$  воды в год. Вода, имеющая плотность  $1235 \text{ кг/м}^3$ , поступает в лабиринт испарительных бассейнов, в которых солнце испаряет воду. По мере испарения воды из нее выпадают разные соли в разных производственных бассейнах. В бассейнах плотность воды (рассолов) последовательно достигает  $1300 \text{ кг/м}^3$ ,  $1303 \text{ кг/м}^3$  и  $1345 \text{ кг/м}^3$ . Из производственных бассейнов вода выходит с плотностью  $1345 \text{ кг/м}^3$  для дальнейшего солнечного выпаривания, где не извлеченные соли выпадают на дно. Донную соль убирают в бассейнах с помощью 5-ти земснарядов.

Израильские Заводы Мертвого моря в 2011 перекачали из северного бассейна в юго-западный бассейн 448 млн.  $\text{м}^3$  воды [10] и возвратили в море 161 млн.  $\text{м}^3$ . Израильские Заводы, вероятно, используют аналогичную технологию и возвращают в море воду, из которой уже извлечены все соли, необходимые для производства. Воду возвращают в южную часть южного бассейна. Солнце испаряет всю эту воду, а все не извлеченные (для нужд производства) соли выпадают на дно бассейна. Ежегодно на дне оседает слой солей толщиной порядка 20 см.

Израильские отели Мертвого моря расположены на берегу северной части южного бассейна севернее заводов. Т.к. заводы ежегодно перекачивают эти миллионы кубометров воды, а на дно оседает слой солей, то уровень моря в районе отелей тоже поднимается, заставляя принимать меры против затопления отелей.

1.2. В течение 2011 года с поверхности  $141\text{-}145$  млн.  $\text{км}^2$  юго-западного бассейна солнце испарило 448 млн.  $\text{м}^3$  воды. Плотность воды (рассола) изменяется по мере перемещения по лабиринтам от  $1235$  до  $1345 \text{ кг/м}^3$ . Скрытая теплота парообразования у рассолов изменяется в зависимости от содержания солей – чем больше соленость, тем меньше скрытая теплота парообразования, меньше необходимо затратить энергии на испарение каждого кубометра воды из рассола. В работах [11, 12] Sharqawy et al, проведены исследования свойств морской воды и более соленых растворов и приведены соответствующие графики и формулы. В частности, исследованы интересующие нас соотношения соленость  $S$  - скрытая теплота парообразования  $h$  и соленость  $S$  – плотность  $\rho_{sw}$ . Соответствующие графики из работы [12] приведены на Рис.1 и 2.

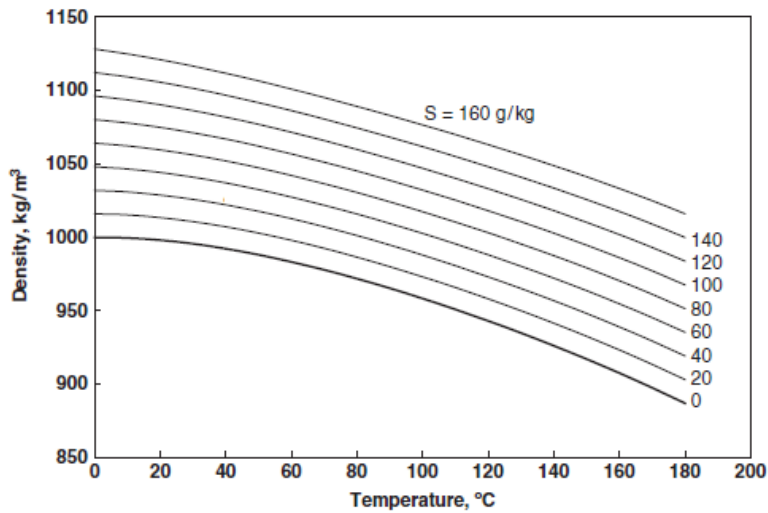


Fig. 3. Seawater density variations with temperature and salinity calculated using Eq. (8).

Рис.1 Соленость  $S$  – плотность  $\rho_{sw}$

График Рис.1 соответствует формуле 8 из работы [11].

$$\rho_{sw} = (a_1 + a_2t + a_3t^2 + a_4t^3 + a_5t^4) + (b_1S + b_2St + b_3St^2 + b_4St^3 + b_5S^2t^2)$$

where

$$a_1 = 9.999 \times 10^2, a_2 = 2.034 \times 10^{-2}, a_3 = -6.162 \times 10^{-3}, a_4 = 2.261 \times 10^{-5}, a_5 = -4.657 \times 10^{-8},$$

$$b_1 = 8.020 \times 10^2, b_2 = -2.001, b_3 = 1.677 \times 10^{-2}, b_4 = -3.060 \times 10^{-5}, b_5 = -1.613 \times 10^{-5}$$

Validity:  $\rho_{sw}$  in (kg/m<sup>3</sup>);  $0 < t < 180$  °C;  $0 < S < 0.16$  kg/kg

Accuracy:  $\pm 0.1$  %

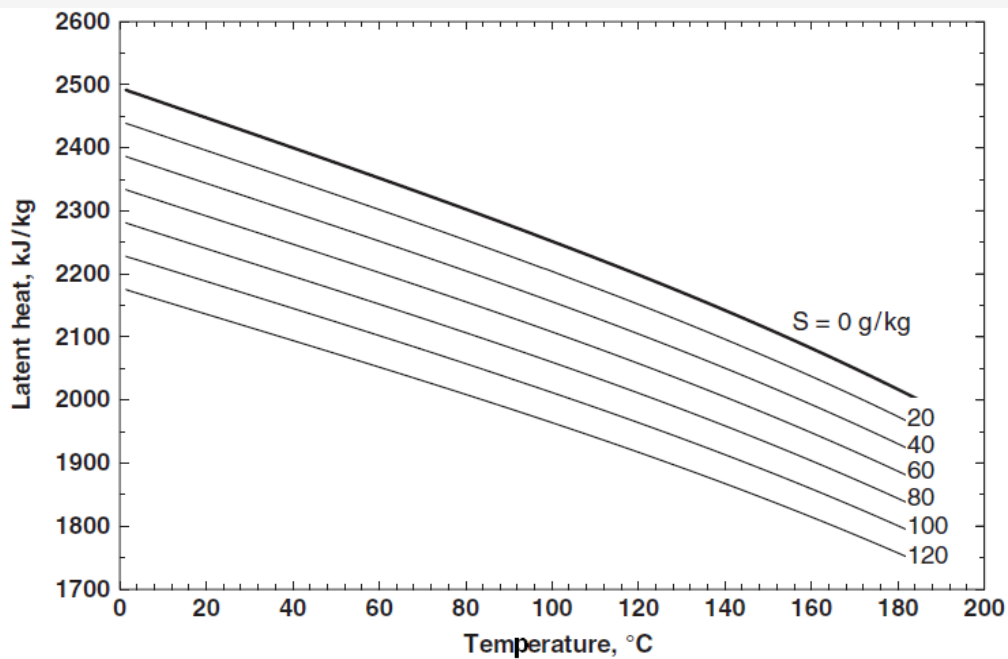


Fig. 12. Seawater latent heat variations with temperature and salinity calculated using Eq. (37)

Рис.2 Соленость  $S$  – скрытая теплота парообразования  $h$

График Рис.2 соответствует формуле 39 из работы [11].

$$h_{fg,sw} = (1 - S/1000) \left( h_{fg,w} - \frac{RT^2}{1000} \frac{\partial \phi}{\partial T} M \right)$$

В работе исследованы пределы солёности до 160 г/кг, т.к. работа проведена в интересах систем опреснения морской воды обратным осмосом. Из формулы (39) следует, что при постоянной температуре  $T$ , скрытая теплота парообразования  $h$  линейно зависит от солёности  $S$ . Потому в нашем исследовании предположим, что экстраполяция на большие величины солёности, имеющиеся у нас, вполне допустима. Аналогично в формуле (8) тоже допустима экстраполяция, т.к. в слагаемом  $b_5 S^2 t^2$  коэффициент  $b_5 (= -1.613 \cdot 10^{-5})$  пренебрежимо мал относительно  $b_1 (=802)$  и потому плотность  $\rho_{sw}$  при постоянной определенной температуре  $T$  линейно зависит от солёности  $S$ . Экстраполированные графики приведены на Рис.3 и 4.

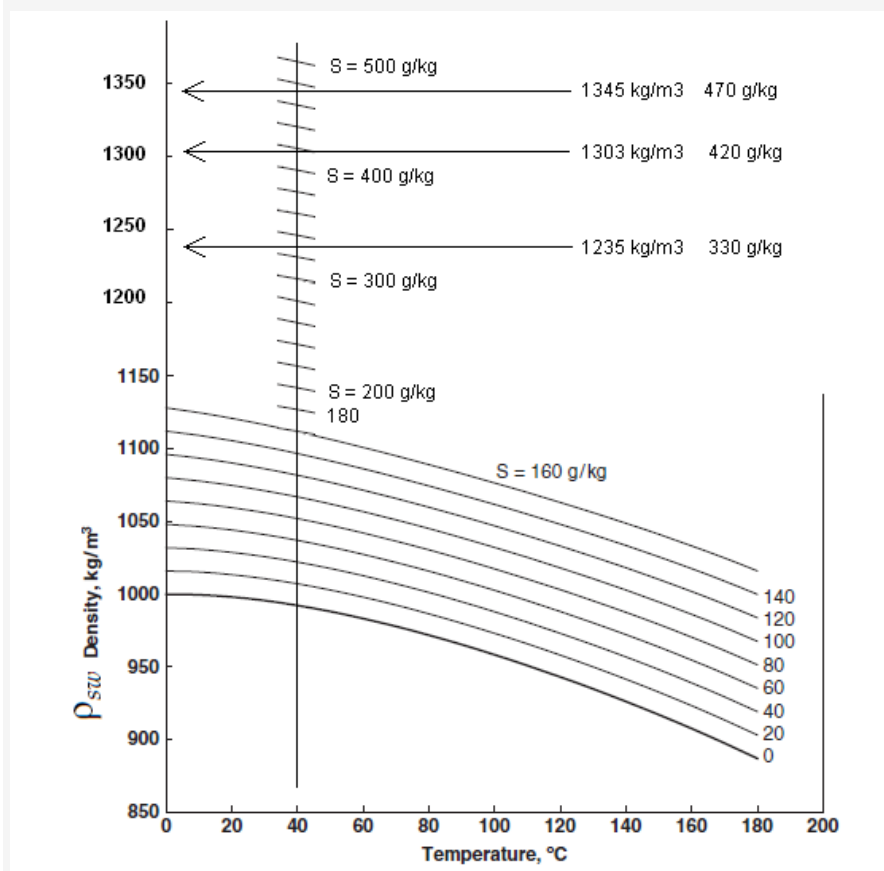


Рис.3 Солёность  $S$  – плотность  $\rho_{sw}$ . Экстраполяция до плотности  $1345 \text{ kg/m}^3$

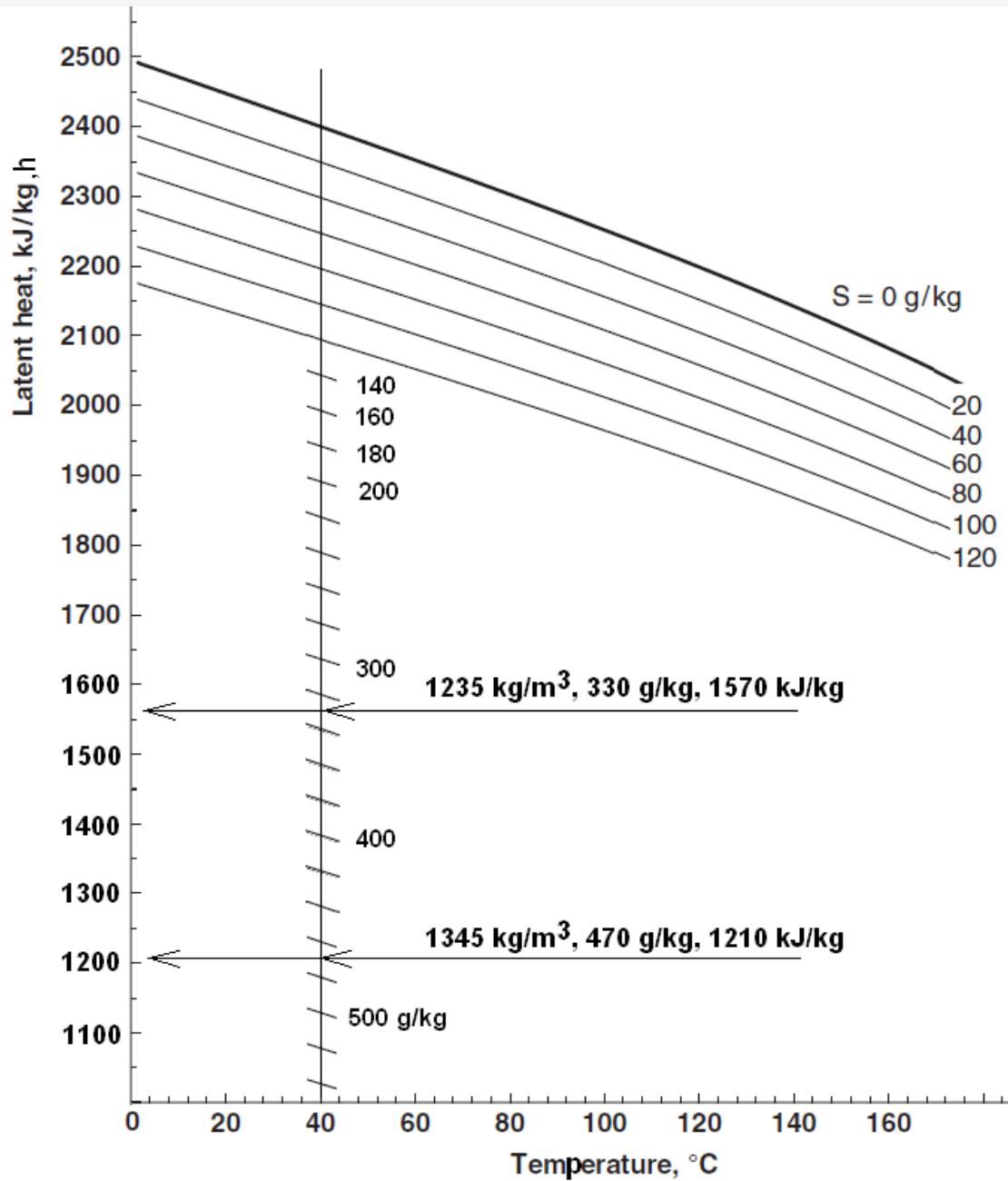


Рис.4 Соленость  $S$  – скрытая теплота парообразования  $h$ .

Экстраполяция до плотности 1345 кг/м<sup>3</sup>.

1.3. По графику Рис.3 при температуре 40°C определены для интересующих нас плотностей 1235, 1303 и 1345 кг/м<sup>3</sup> соответствующая им соленость 330, 420 и 470 г/кг. По графику Рис.4 при температуре 40°C определены для интересующих нас плотностей 1235 и 1345 кг/м<sup>3</sup> соответствующая им скрытая теплота парообразования  $h$  1570 и 1210 кДж/кг.

Морская вода поступает в южные бассейны, двигается по лабиринту между дамбами, солнце испаряет воду, соленость воды (рассола) по мере продвижения увеличивается, скрытая теплота парообразования несколько уменьшается. Точная величина энергии, которую получила от солнца вода юго-западного бассейна, может быть определена, если были бы известны для каждого участка лабиринта площадь участка, температура воды, количество испарившейся воды и ее плотность (соответственно соленость и скрытая теплота парообразования). Однако такая информация отсутствует.

А известно следующее. Площадь юго-западного бассейна в 2011 составляла 141...145 км<sup>2</sup>. В течение 2011 в бассейн перекачали 448 млн. м<sup>3</sup> воды. Солнце всю эту воду испарило с поверхности юго-западного бассейна частично в производственных бассейнах и частично с непроизводственной площади, в том числе около отелей. Соленость воды изменяется от 330 г/кг до 470 г/кг и более до неизвестной величины.

В работе Ильина А. К. [13] установлено: «Равновесная температура [поверхности морской воды] 44-45<sup>o</sup>C наблюдалась также в природных условиях в тропической зоне океана [Индийского] в прибрежной полосе на больших площадях на мелководье (глубина до 1,5 м), где водообмен [с океаном] затруднен по природным условиям. Эта температура воды достигается к середине дня... Основной (преобладающей) потерей теплоты при нагревании [солнцем] испаряющейся жидкости являются затраты на испарение...»

Измеренные со спутников температуры поверхности воды на северном бассейне Мертвого моря находятся в пределах от 20<sup>o</sup>C до 35<sup>o</sup>C в разные сезоны, время суток и в различных участках моря [14].

Сведений о температуре поверхности воды в южных бассейнах Мертвого моря автор не обнаружил (в интернете). Для нашего исследования на основании изложенного выше примем, что температура поверхности воды в юго-западном бассейне находятся в пределах от 30<sup>o</sup>C до 45<sup>o</sup>C в разные сезоны, время суток и в различных участках моря. На Рис.5 приведена часть Рис.4, на которой нанесен контур, ограниченный интересующими нас температурами 30<sup>o</sup>C и 45<sup>o</sup>C и соленостью 330 и 470 г/кг. В пределах этого контура скрытая теплота парообразования изменяется в пределах от 1200 до 1600 кДж/кг. Нам не известны для каждого участка моря его площадь, температура воды и т.д., потому нет необходимости определять для каждого участка и скрытую теплоту парообразования. Для дальнейшего исследования принимаем скрытую теплоту парообразования 1400 кДж/кг для всей площади южного бассейна.

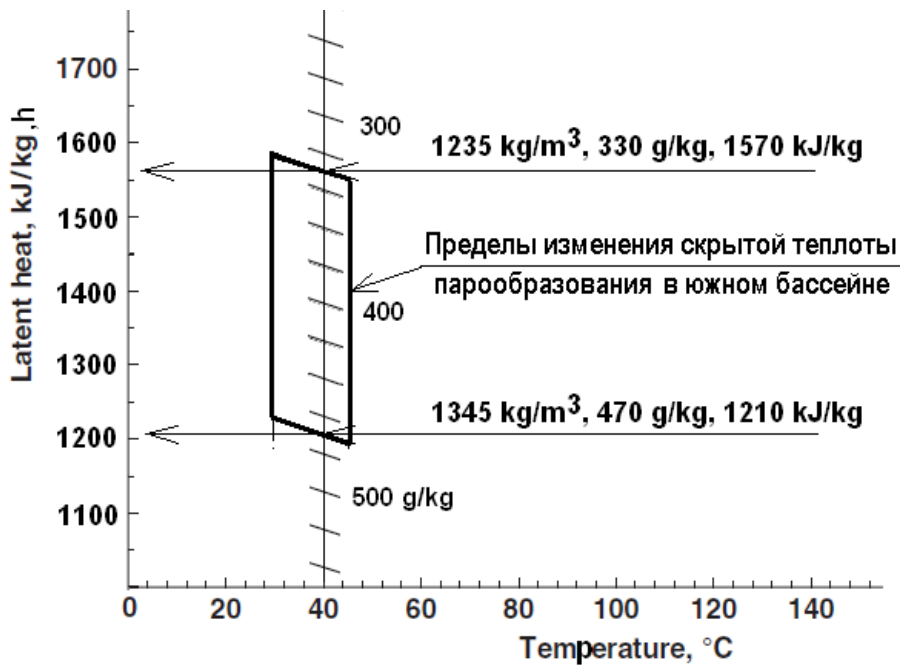


Рис. 5 Соленость  $S$  – скрытая теплота парообразования  $h$ . Пределы изменений скрытой теплоты парообразования в южном бассейне.

В 2011 в юго-западный бассейн поступило 448 млн.  $m^3$  морской воды, имеющей плотность  $1235 \text{ kg/m}^3$  и соленость 330 г/кг, т.е. 553 млн. т ( $=1.235 \cdot 448$ ). В этой воде 183 млн. т солей ( $=553 \cdot 0.33$ ) и 370 млн. т собственно воды ( $=553 - 183$ ). За год вся вода испарилась, для чего необходима энергия  $518 \cdot 10^{12}$  кДж ( $=1400 \cdot 370 \cdot 10^9$ ). Согласно измерениям [14] солнечная среднегодовая среднесуточная энергия солнечного облучения в районе Мертвого моря составляет от 5 до 5.5 кВт\*ч на  $1 \text{ m}^2$  поверхности в день (в разные годы). За год энергия солнечного облучения на площадь юго-западного бассейна  $141 \dots 145 \text{ km}^2$  составляет  $274 \cdot 10^9$  кВт\*ч ( $=5.25 \cdot 365 \cdot 143 \cdot 10^6$ ) или  $986 \cdot 10^{12}$  кДж ( $=3600 \cdot 274 \cdot 10^9$ ). Отношение количества энергии, которая пошла на испарение воды к энергии солнечного облучения, т.е. КПД испарения воды энергией солнечного облучения в южном бассейне, таким образом, составляет 0.53 ( $=518/986$ ). В выше упомянутой работе Ильина [13] найдено: «Коэффициент полезного действия процессов нагревания [солнцем] для [морской] воды - 0,4-0,6».

Для северного бассейна на Рис.6 приведена часть Рис.4, на которой нанесена линия, ограниченная интересующими нас температурами  $20^\circ\text{C}$  и  $35^\circ\text{C}$  при солености 330 г/кг (плотности  $1235 \text{ kg/m}^3$ ). В пределах этой линии скрытая теплота парообразования изменяется в пределах от 1580 до 1620 кДж/кг. Для дальнейшего исследования принимаем скрытую теплоту парообразования 1600 кДж/кг для всей площади северного бассейна. Солнечная среднегодовая среднесуточная энергия солнечного облучения в северном бассейне тоже составляет от 5 до 5.5 кВт\*ч на  $1 \text{ m}^2$  поверхности в день. КПД испарения воды энергией солнечного облучения в северном бассейне принимаем тоже 0.53. Каждый квадратный метр воды получает в год энергию 1016 кВт\*ч ( $=5.25 \cdot 365 \cdot 0.53$ ) или  $3660 \cdot 10^3$  кДж ( $=1016 \cdot 3600$ ). Эта энергия испаряет 2290 кг ( $=3660 \cdot 10^3 / 1600$ ) воды с  $1 \text{ m}^2$  в год. Объем испарившейся воды составляет  $2.29 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^2$  в год.

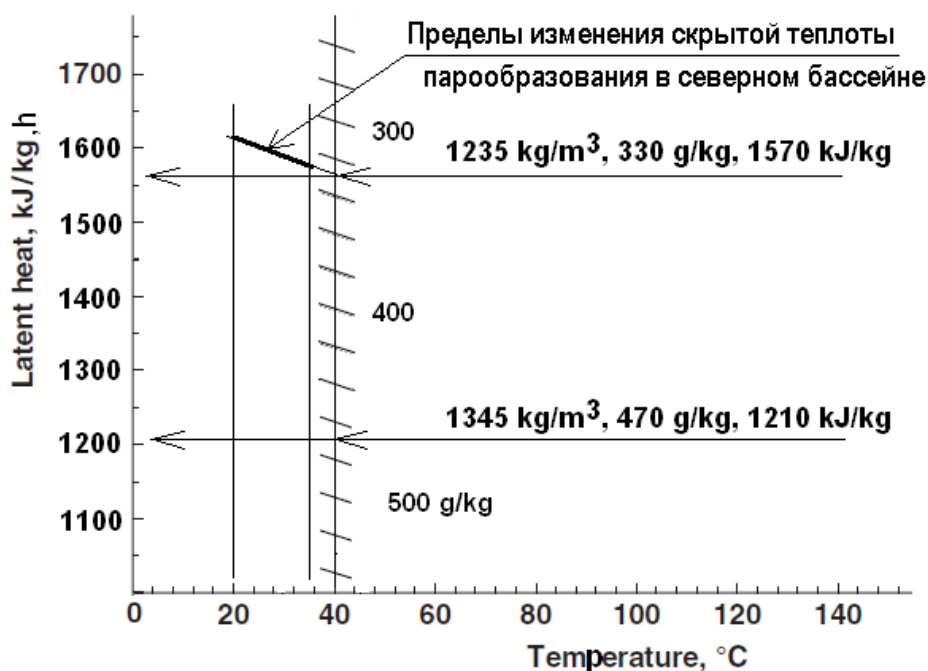


Рис.6 Соленость S – скрытая теплота парообразования h. Пределы изменений скрытой теплоты парообразования в северном бассейне.

1.4. Площадь северного бассейна в 2011 составляла 603...624 км<sup>2</sup>, с поверхности северного бассейна за год солнце испарило воды 1405 млн. т (=2.29\*(603+624)/2), объем моря за счет испарения воды уменьшился на 1405 млн. м<sup>3</sup>. Израильские заводы Мертвого моря забрали из северного бассейна 448 млн. м<sup>3</sup> и Иорданские заводы 250...300 млн. м<sup>3</sup>, в сумме заводы забрали 723 млн. м<sup>3</sup> (=448+(250+300)/2). Всего из северного бассейна ушло за 2011 год 2128 млн. м<sup>3</sup> воды (=1405+723). А объем бассейна уменьшился только на 613 млн. м<sup>3</sup>, т.к. уровень воды в северном бассейне за год понизился на 1 м. Т.о. в северный бассейн в течение 2011 года поступило столько пресной воды, что объем моря увеличился на 1515 млн. м<sup>3</sup> (=2128 – 613). Дожди вносят 26 млн. м<sup>3</sup> (42 мм/год [15]), и река Иордан около 100 млн. м<sup>3</sup>. Ручьи и подземные источники приносят остальные 1400 млн. м<sup>3</sup> воды.

Мертвое море имеет площадь водосбора 40650 км<sup>2</sup> [16]. В разных регионах этой площади водосбора различное годовое количество осадков в различные годы. Например, на самом Мертвом море количество осадков 25...100 мм, в Иордании в Munif годовые осадки от 250 до 1000 мм в разные годы [16]. Следовательно, для того, чтобы из подземных источников, ручьев и реки Иордан в Мертвое море поступало бы 1515 млн. м<sup>3</sup> воды, осредненное количество осадков, уходящих в грунт на площади водосбора и достигающих Мертвого моря, должно составлять не менее 37 мм в год (=1515/40650).

1.5. Предположим, что в течение ближайших лет в Мертвое море будет поступать ежегодно 1515 млн. м<sup>3</sup> воды, заводы будут откачивать те же 723 млн. м<sup>3</sup>, солнце будет уменьшать объем моря (за счет испарения воды) по 2.29 м<sup>3</sup> с каждого 1 м<sup>2</sup> в год на 1381 млн. м<sup>3</sup> (=2.29\*603). Итого объем моря ежегодно будет уменьшаться на 589 млн. м<sup>3</sup> (=723 + 1381 - 1515) Площадь северного бассейна будет сокращаться и когда-то количество поступающей воды станет равным количеству испаряющейся



воды. Это произойдет при уменьшении площади северного бассейна до  $350 \text{ km}^2$  ( $=(1515 - 723)/2.29$ ) и его площадь и уровень воды в нем стабилизируются. Площадь северного бассейна и уровень воды в нем будут от года к году и в течение года меняться, так же как это происходит на озере Кинерет, в зависимости от климатических условий в году и промышленного использования воды.

На Рис.7 показан график зависимости площади северного бассейна Мертвого моря от уровня поверхности моря. График построен на основании исследований, изложенных в работе Gertman et al, (Fig. 2a) [8]. Площадь северного бассейна моря ( $862$ ,  $804$  и  $756 \text{ km}^2$ ) автор определил для уровней моря минус  $370$ ,  $380$  и  $390 \text{ м}$  с помощью сайта "Google Earth".

Из Рис.7 видно, что северный бассейн станет иметь площадь  $350 \text{ km}^2$ , когда уровень воды опустится до отметки минус  $640 \text{ м}$ , т.е. на  $216 \text{ м}$  ( $=640 - 424$ ). Среднее уменьшение уровня моря в год за этот период составит  $0.5 \text{ м}$  ( $=(1+0)/2$ ). Стабилизация уровня северного бассейна произойдет через ...  $430 \text{ лет}$  ( $=216/0.5$ ). Заводы Мертвого моря будут вынуждены поднимать сотни миллионов тонн морской воды не на  $20 \text{ м}$  как сегодня, а на  $216 \text{ м}$ . Однако за  $430 \text{ лет}$  климатические условия могут так измениться, что принятые допущения утратят смысл.

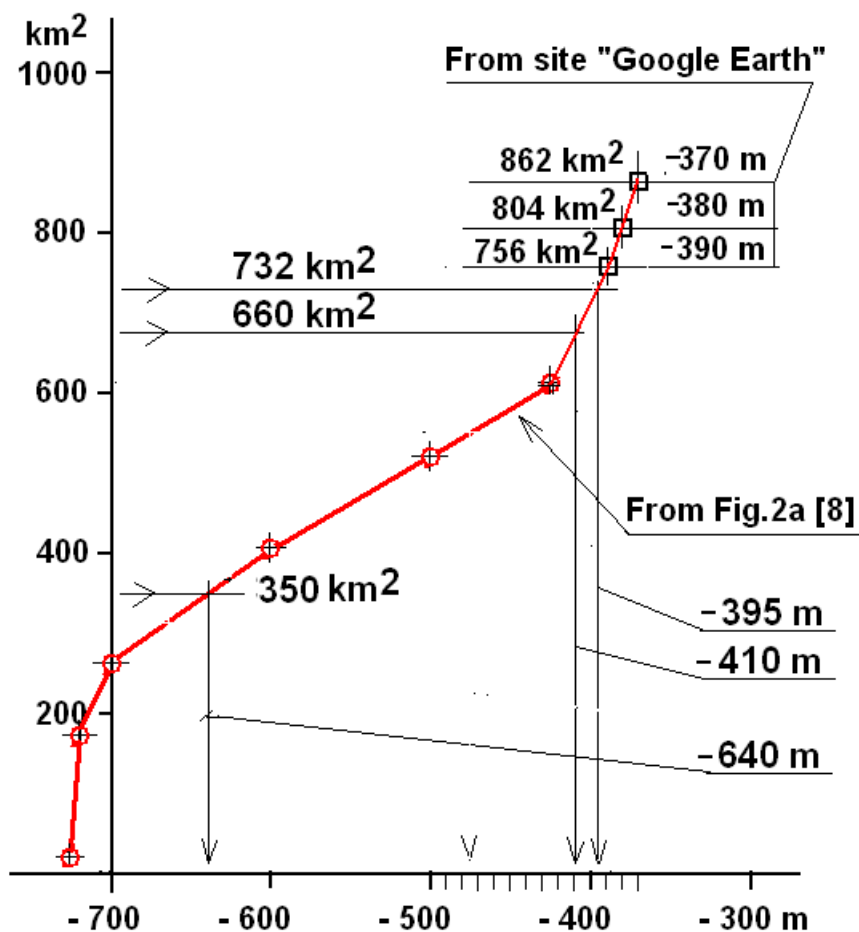


Рис. 7 Площадь северного бассейна Мертвого моря – уровень поверхности моря

## 2. Рассмотрим несколько предположений.

2.1. Допустим, что Израильским и Иорданским заводам Мертвого моря запретят откачивать воду из северного бассейна, как предлагают некоторые. Проанализируем, что же произойдет. Площадь северного бассейна в октябре 2011 составляла  $603 \text{ км}^2$ , с каждого квадратного метра солнце уменьшает объем моря на  $2.29 \text{ м}^3$ , всего за год объем уменьшится на  $1381 \text{ млн. м}^3 (=2.29 \cdot 603)$ . В северный бассейн поступает  $1515 \text{ млн. м}^3$  воды, потому неиспарившиеся  $134 \text{ млн. м}^3 (=1515 - 1381)$  начнут повышать уровень воды в северном бассейне на  $0.22 \text{ м}$  в год  $(=134/603)$ . Количество поступающей воды станет равным количеству испаряющейся воды при увеличении площади северного бассейна до  $660 \text{ км}^2 (=1515/2.29)$ . Уровень воды в северном бассейне достигнет отметки минус  $410 \text{ м}$  (см. Рис.7) и прекратит подниматься. Средняя скорость подъема уровня составит  $0.11 \text{ м/год} (0.22/2)$ . На этой отметке уровень моря стабилизируется через  $130 \text{ лет!} (=424 - 410) / 0.11$ . Эта отметка минус  $410 \text{ м}$  ниже уровня перевала к южным бассейнам на  $15 \text{ м} (=410 - 395)$ , потому в южные бассейны вода не будет поступать. В 1977 году уровень воды в Южном бассейнах был около минус  $400 \text{ м}$  [17, рис. 1], и Северный бассейн отделился от Южных бассейнов.

Южные бассейны через год-два после прекращения подачи воды Заводами Мертвого моря полностью высохнут, и отели окажутся не на берегу моря, а на краю соляной пустыни. Курортная зона и туризм исчезнут. Южные бассейны Мертвого моря не пересохли после 1977 года только потому, что Заводы Мертвого моря перекачивают воду из северного бассейна в южные. Именно эти фактически рукотворные бассейны сохраняют состав атмосферного воздуха в прибрежной полосе моря и в курортной зоне южных бассейнов.

2.2. Рассмотрим ситуацию, при которой заводы Мертвого моря прекратят откачивать воду и будет прекращен отбор воды из реки Иордан, т.е. вернемся к положению, существовавшему до 1926 года. Проанализируем, что же произойдет. Площадь северного бассейна в октябре 2011 составляла  $603 \text{ км}^2$ , с каждого квадратного метра солнце уменьшает объем моря в год на  $2.29 \text{ м}^3$ , всего за год объем моря за счет испарения уменьшится на  $1381 \text{ млн. м}^3 (=2.29 \cdot 603)$ . В северный бассейн будет поступать вода из реки Иордан  $1430 \text{ млн. м}^3$  [17]. Из подземных источников будет поступать те же  $1515 \text{ млн. м}^3$  воды. Количество неиспарившиеся воды составит  $1564 \text{ млн. м}^3 (=1430+1515 - 1381)$ .

Скорость подъема уровня составит (с начала)  $2.6 \text{ м/год} (=1564/603)$ . Уровень воды в северном бассейне достигнет отметки минус  $395 \text{ м}$ . На это потребуется порядка  $15 \text{ лет}$ . Эта отметка минус  $395 \text{ м}$  на уровне перевала к южным бассейнам, потому южные и северные бассейны соединились бы, как это действительно было десятки и сотни лет тому назад. Например, уровень Мертвого Моря минус  $390 \text{ м}$  был с 1900 по 1930 годы и выше минус  $380 \text{ м}$  в 1180... 1240, 1280...1310, 1570...1590 гг (см. рис. 8) [17, рис. 2, 3].

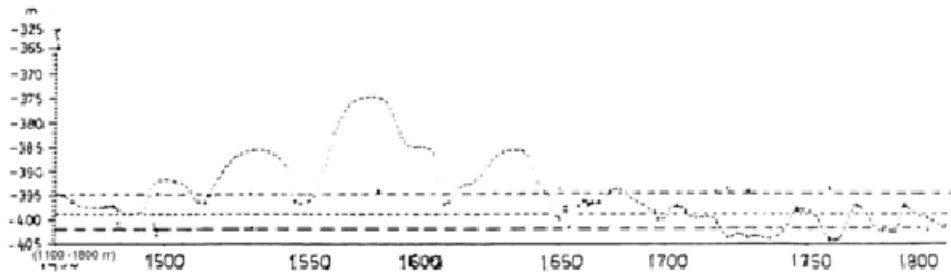
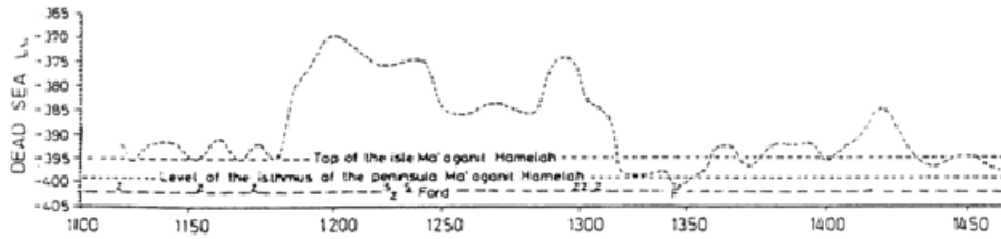


Fig. 3 [17]

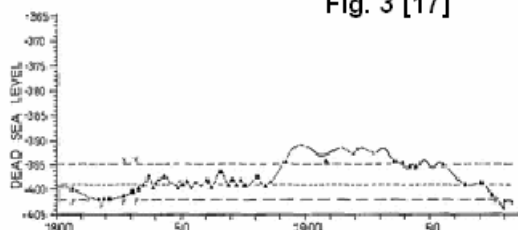
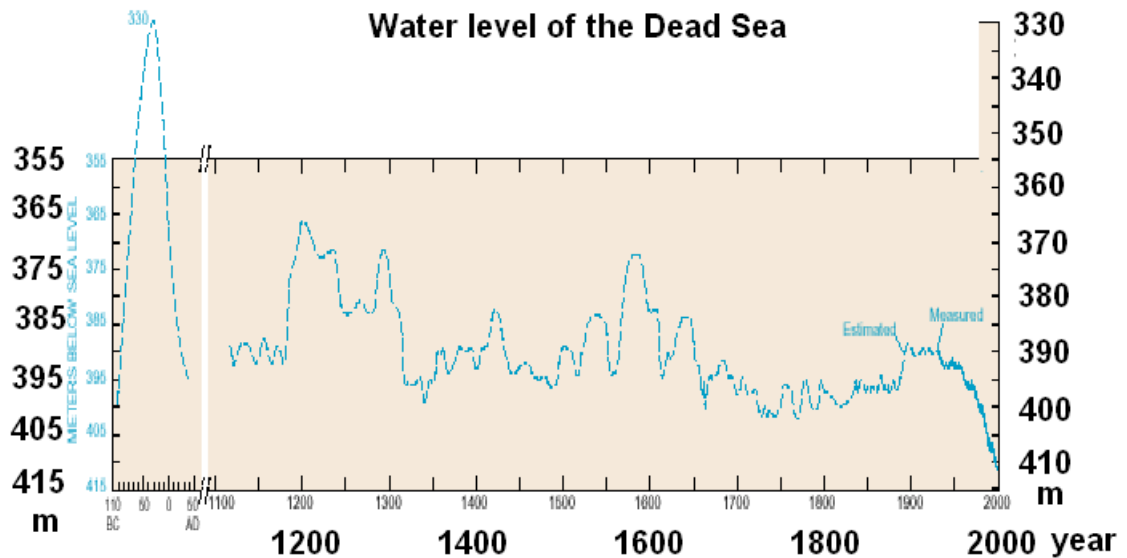


Fig. 2 [17]



<http://exact-me.org/overview/p4144.htm>, Water Data Banks Project,

Multilateral Working Group on Water Resources,  
Middle East Peace Process

Рис. 8. Уровень Мертвого моря с 1100 по 2000 годы [17, Fig. 2; 3]

3. Рассмотрим несколько проектов.

3.1. Допустим, что будет реализован один из проектов пополнения северного бассейна Мертвого моря красноморской, средиземноморской или опресненной водой. Проанализируем, что произойдет. В проектах предлагают подавать воды или 600 млн. м<sup>3</sup>, или 900 млн. м<sup>3</sup>, или 1200 млн. м<sup>3</sup> в год. Было даже предложено подавать 4900 млн. м<sup>3</sup> в год. Заводы Мертвого моря продолжают откачивать,

допустим, нынешние 723 млн. м<sup>3</sup> воды, естественное поступление воды тоже сохраняется 1515 млн. м<sup>3</sup>. Строительство продолжится 10 лет, не менее, за это время уровень воды уменьшится на 10 м, площадь северного бассейна будет 600 км<sup>2</sup>. С каждого квадратного метра солнце уменьшает объем моря в год на 2.29 м<sup>3</sup>, всего за год объем моря за счет испарения уменьшится на 1381 млн. м<sup>3</sup> (=2.29\*603).

При подаче в море 600 млн. м<sup>3</sup> свежей воды количество испаряющейся воды будет равно количеству добавляемой воды:  $1515+600 -1381- 723=11$ . Уровень моря будет стабилизироваться на существующем уровне.

При подаче в море 1200 млн. м<sup>3</sup> свежей воды, количество добавляемой воды будет превышать количество испаряемой воды на 611 млн. м<sup>3</sup> (=1515+1200-723-1381). Скорость повышения уровня моря будет 1 м/год (=611 /600).

Уровень моря достигнет минус 395 м. На этом уровне бассейны соединятся, и общая площадь бассейнов будет 732 км<sup>2</sup>. Скорость испарения составит 1676 млн. м<sup>3</sup> /год (=2.29 \*723). Количество добавляемой воды будет превышать количество испаряющейся воды на 316 млн. м<sup>3</sup> /год (=1515+1200 -723 - 1676), и повышение уровня составит 0,43 м/год (=316/732). Таким образом, средняя скорость повышения уровня моря будет 0.71 м/год (=(1+0.43)/2). Это заняло бы 55 лет (= (434-395)/0.71), чтобы достичь уровня минус 395 м.

При уровне моря минус 395 м потребуется подавать уже не 1200 млн. м<sup>3</sup>, а меньше, т.е. уменьшать подачу воды в северный бассейн, так как повышать уровень воды в южных бассейнах не приемлемо ни для Заводов Мертвого моря, ни для отелей.

Все проекты именуются « Проект спасения Мертвого моря». Возникает вопрос, какой уровень воды в северном бассейне является оптимальным или при каком уровне моря можно заявить, что Мертвое море спасено? Несомненно, для нахождения оптимального уровня воды в северном бассейне Мертвого моря необходимы отдельные исследования, учитывающие экологические, туристические, экономические и др. стороны вопроса. Не зная оптимального уровня моря, невозможно решить какое количество воды подавать в море, следовательно, какие должны быть размеры туннелей, каналов, мощности насосов и т.д.

3.2. Допустим, что будет реализован проект, предусматривающий использование «плавающей крыши» - пластиковых плотов на северном бассейне Мертвого моря для уменьшения испарения воды. Предлагаемая суммарная площадь плотов 300 км<sup>2</sup>. Длительность собственно строительства плотов полгода – год, стоимость \$250...300 млн. За счет испарения с оставшейся не укрытой площади 300 км<sup>2</sup> в год объем моря уменьшится на 687 млн. м<sup>3</sup> (=2.29\*300). Объем неиспарившейся воды составит 105 млн. м<sup>3</sup> (=1515 – 723 – 687). Уровень воды начнет повышаться на 0.17 м/год (=105/600). Площадь бассейна стабилизируется, когда количество испаряемой воды станет равно количеству поступающей воды.

За 10...20 лет вполне можно исследовать, уточнить или не раз перерешить каким должен быть оптимальный уровень воды в северном бассейне Мертвого моря. И, следовательно, решить какое количество воды подавать в море, какие должны быть

размеры туннелей, каналов, мощности насосов и т.д., из каких источников получить необходимые \$10 млрд. для строительства. А пока плоты можно добавлять или убирать и тем поддерживать оптимальный уровень.

Плоты находятся в северном бассейне на расстоянии десятков километров от отелей, расположенных в курортной зоне южных бассейнов, и не могут повлиять на состав атмосферного воздуха в прибрежной полосе моря и в курортной зоне южных бассейнов.

#### 4. Выводы

- 4.1. Площадь северного бассейна сократится до 350 км<sup>2</sup>, и уровень моря станет минус 640 м, если ни один из проектов не будет реализован.
- 4.2. Если Израильским и Иорданским заводам Мертвого моря запретят откачивать воду из северного бассейна, то уровень воды в северном бассейне достигнет отметки минус 410 м. Эта отметка минус 410 м ниже уровня перевала к южным бассейнам потому в южные бассейны вода не будет поступать. Южные бассейны через год-два после прекращения подачи воды Заводами Мертвого моря полностью высохнут, и отели окажутся не на берегу моря, а на краю соляной пустыни. Курортная зона и туризм исчезнут.
- 4.3. Если заводы Мертвого моря прекратят откачивать воду, а также будет прекращен отбор воды из реки Иордан, то уровень воды в северном бассейне достигнет отметки минус 395 м. Эта отметка выше перевала к южным бассейнам, поэтому южные и северные бассейны соединились бы, как это действительно было десятки и сотни лет тому назад.
- 4.4. При подаче в море 600 млн. м<sup>3</sup> свежей воды уровень моря стабилизируется на существующем уровне.
- 4.5. При подаче в море 1200 млн. м<sup>3</sup> свежей воды уровень моря достигнет минус 395 м. На этом уровне бассейны соединятся, и общая площадь бассейнов будет 732 км<sup>2</sup>. При уровне моря минус 395 м потребуются подавать уже не 1200 млн. м<sup>3</sup>, а меньше, т.е. уменьшать подачу воды в северный бассейн, так как повышать уровень воды в южных бассейнах не приемлемо ни для Заводов Мертвого моря, ни для отелей.
- 4.6. Если будет реализован проект, предусматривающий использование «плавающей крыши» - пластиковых плотов на северном бассейне Мертвого моря для уменьшения испарения воды. Уровень воды начнет повышаться на 0.17 м/год. Предлагаемая суммарная площадь плотов 300 км<sup>2</sup>. Длительность собственно строительства плотов полгода – год, стоимость \$250...300 млн.

## 5. Заключение

Анализ, представленный в данной статье, базируется на данных, полученных из Интернета и на простых расчетах. Более точные данные могут быть получены путем проверки с помощью прямых экспериментальных работ сделанных в статье экстраполяций и допущений. В частности и прежде всего необходимо непосредственно в открытом море в северном бассейне измерить количество воды, испаряющейся с 1 м<sup>2</sup>.

Очень надеюсь, что возможно эта оценка печальной судьбы Мертвого моря подтолкнет соответствующие уполномоченные структуры Израиля на более активные действия для помощи морю и на дополнительные исследования. Или такова участь северного бассейна Мертвого моря сократиться почти вдвое?

1. КАНАЛ ИЗ КРАСНОГО МОРЯ В МЕРТВОЕ МОРЕ,  
<http://www.newsru.co.il/finance/16jan2013/teala8001.html>

2. Проф. Л. Борошок, ВОПРОСЫ СОХРАНЕНИЯ МЕРТВОГО МОРЯ  
[http://www.elektron2000.com/boroshok\\_0066.html](http://www.elektron2000.com/boroshok_0066.html)

3. М. Зосименко, Проект спасения мертвого моря  
[http://world.lib.ru/m/mihail\\_a\\_z/proektspasenijamertwogomorja.shtml](http://world.lib.ru/m/mihail_a_z/proektspasenijamertwogomorja.shtml)

4. Проф.М. Танклевский, ЖИВОЕ МЕРТВОЕ МОРЕ - Как его сохранить?

5. Д-р. А. Брилон, д-р. А. Качан, ПОМОЖЕМ МЕРТВОМУ МОРЮ

6. Ю. Бак, ВОЗРОЖДЕНИЕ МЕРТВОГО МОРЯ, <http://madan.org.il/node/6654>

7. Д-р. С. Розенберг, Проект стабилизации уровня воды Мертвого моря  
<http://sita-journal.com/> - Volume 14, No. 4, 2012,  
<http://www.elektron2000.com/article/1140.html>

8. Isaac Gertman et al, Equations of state for the Dead Sea and Aral Sea: Searching for common approaches, 21 April 2010

9. Arab Potash Corp – APC, Solar Evaporation System,  
<http://www.arabpotash.com/pages.cshtml/53>

10. Заводы Мертвого моря перекачивают воду ...

<http://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3578847,00.html>

11. Mostafa H. Sharqawy et al, Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139-4307, USA, Accepted 2 December 2009  
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5004/dwt.2010.1079#.UephAdK8CUk>

[http://web.mit.edu/lienhard/www/Thermophysical\\_properties\\_of\\_seawater-DWT-16-354-2010.pdf](http://web.mit.edu/lienhard/www/Thermophysical_properties_of_seawater-DWT-16-354-2010.pdf)

12. Mostafa H. Sharqawy et al, Thermophysical Properties of Seawater: A Review of Existing Correlations and Data, Desalination and Water Treatment, 2010

[http://web.mit.edu/seawater/Seawater\\_Property\\_Tables.pdf](http://web.mit.edu/seawater/Seawater_Property_Tables.pdf)

13. Ильин А.К., «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ ВОДЫ», 2009,

<http://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-dannye-ob-ispolzovanii-solnechnoy-energii-dlya-nagrevaniya-vody>

14. Israel Oceanographic and Limnological Research

<http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/AboutUs.aspx>

15. Климатические данные для Мертвого моря 2010,

[http://en.wikipedia.org/wiki/Dead\\_Sea](http://en.wikipedia.org/wiki/Dead_Sea)

16. Shahrazad Abu Ghazleh et al, Water input requirements of the rapidly shrinking Dead Sea, 28 February 2009

<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00114-009-0514-0.pdf#page-1>

17. C. Klein, H. Flohn, December 12, 1986, Contributions to the Knowledge of the Fluctuations of the Dead Sea Level,

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fbf00868099#page-1>

18. ... the volume of the watercourse is down from 1.43 billion cubic meters per year to 100 million. October, 2011...

<http://www.unavitaverde.net/dead-sea/>