



УДК 504.7

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ**Балекова Акнур Аманбековна**

магистр технических наук

НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова»,

г. Актау, Республика Казахстан

Аннотация. В работе рассматриваются результаты многолетних исследований ученых о процессах испарения Каспия, что немаловажно при разработке мероприятий по снижению испарений с поверхности хвостохранилища Кошкар – Ата. В настоящее время зеркало пруда хвостохранилища, в связи с прекращением подачи адекватному испарению количества морской воды, существенно уменьшается, а площади сухих пляжей – увеличиваются. Таким образом, сама природа способствует замедлению процесса испарения высокотоксичной жидкости с поверхности «прудка». Вместе с тем промедление в решении вопроса стабилизации уровня водного зеркала, может обострить обстановку в районе прилегающем к хвостохранилищу.

Ключевые слова: испарение, морская вода, хвостохранилище

Введение: Экологическая опасность хвостохранилища Кошкар-Ата, требующего особого внимания, источника техногенного воздействия на окружающую среду – заключается в возможном загрязнении подземных вод и вероятности поступления вредных веществ с плотными рассолами в акваторию моря (море имеет гидравлическую связь с водоносными горизонтами и комплексами района) и пылении «пляжей» при ветровой эрозии хвостохранилища.

Цель исследования: Район расположения рассматриваемого хвостохранилища – юго-западная часть полуострова Мангышлак. В орографическом отношении район представляет денудационное плато, сформированное по отложениям неогена, которое осложнено достаточно крупными впадинами эрозинно-тектонического, суффозионно-карстового и дефляционного происхождения. Площадь впадины Кошкар-Ата 130 км². Наиболее низкая отметка дна впадины минус 38,2 м. Борта впадины имеют относительное превышение над современным урезом воды около 8 м. С запада и северо-запада на берегах впадины развиты перевиваемые золотые пески. Отступление береговой линии за счет повышения уровня воды наиболее интенсивно происходило на восточном низменном берегу хвостохранилища. В июле наблюдается высокое испарение с водной поверхности (250-300 мм); суммарная величина испарения в теплый сезон в 15-20 раз превышает сумму атмосферных осадков. Зимой ветры



западные северо-западные, летом – восточные и юго-восточные. Средняя годовая скорость ветра 6-7 м/с. Максимальная скорость ветра (20-25 м/с) наблюдается в зимнее-весенний период. В целом, преобладают ветры северо-западного направления. Днище впадины до начала эксплуатации представляло собой сор, к южной части которого приурочено месторождение поваренной соли следующего химического состава (в %): NaCl-95,75-97,0; CaSO₄-0,9-2,55; MgSO₄-0,09-0,078 и MgCL₂-0,12-0,63. Запасы поваренной соли Кошкаратинского месторождения оценивались 17,8 млн. т. В результате постоянной подачи на протяжении десятков лет в хвостохранилище «Кошкар-Ата» складированного материала с одной позиции, основная масса отложений сформировалась в ближайшей к действующему выпуску зоне хвостохранилища. Объем сформированных отложений занимает, по крайней мере, одну треть всего объема хвостохранилища. Часть отложений находится выше водной поверхности с максимальным превышением уровня 1,5 м; общий уклон поверхности «обнаженной» части отложений от выпуска 0,0005, а ее площадь – более 15 млн. м².

Методы исследования: В настоящее время зеркало пруда хвостохранилища, в связи с прекращением подачи адекватному испарению количества морской воды, существенно уменьшается, а площади сухих пляжей – увеличиваются. Имеющиеся источники информации посвящены вопросам наблюдения за процессом испарения с поверхности мирового океана и с различных водных объектов [1-4]. На поверхности Земли при существующих условиях вода стремится остаться преимущественно в жидком виде. Чтобы перевести её из жидкого состояния в парообразное или из твердого в жидкое, надо затратить большое количество энергии. Эта энергия требуется, как это следует из гипотез, для разрушения её межмолекулярной структуры. Обычно такие затраты энергии называются скрытой теплотой испарения или таяния.

Известно, при плавлении 1 г воды поглощается 333,7 Дж (79,7кал) без повышения температуры, а в точке испарения 2258,5 Дж (539,4кал) также без изменения температуры. Чтобы превратить лед в воду необходимо затратить 332,43 Дж на 1г, а для превращения такого же количества воды в пар требуется 2 258,5 Дж. При обратных переходах - превращении пара в воду и воды в лед - из каждого грамма воды выделяется эквивалентное количество тепла.

При испарении воды разрываются все межмолекулярные связи. Превращение льда в воду (таяние) требует затрат энергии на много меньше, чем на испарение. Это может свидетельствовать о разрыве только части межмолекулярных связей - не более 20%, о чем можно судить по соотношению цифр 333,7 и 2258,5 Дж - при её переходе из твердого состояния в жидкое. Скрытая теплота плавления воды -наиболее высокая среди всех веществ за исключением аммиака и водорода, а скрытая теплота испарения - наиболее высокая из всех веществ, т.е. и по этим свойствам вода выступает как уникальная субстанция.



Таким образом, чтобы добиться испарения воды надо затратить огромное количество тепла. Уже известно, что основная часть солнечной энергии, поглощаемая гидросферой, затрачивается на испарение. Каждую минуту на испарение с поверхности океана уходит $2 \cdot 10^{18}$ Дж. солнечной энергии. Но это тепло не потеряно для планеты. При конденсации паров в верхней части тропосферы тепло, затраченное на испарение, вновь выделяется.

Водяной пар выступает как теплоноситель, перемещающий тепло Солнца, для излучения которого атмосфера прозрачна, от поверхности океана и увлажненной поверхности суши к уровню конденсации в атмосфере. Мощные импульсы тепла, возникающие при конденсации, служат одним из двигателей циркуляции атмосферы и, возможно, источником энергии тропических ураганов. Пары воды в атмосфере играют и другую не менее важную роль; они перехватывают и поглощают тепловое (инфракрасное) излучение Земли, создавая парниковый эффект. Роль водяного пара в парниковом эффекте, по мнению автора [1] значительно существеннее, чем роль углекислого газа.

Атмосферную влагу можно сравнить с теплым одеялом, окутывающим нашу Землю. Весну и осень умеренных широт можно рассматривать как время перестройки структуры воды в первом случае от льдистой к квазильдистой и во втором - наоборот. Для подобной перестройки весной необходимо много тепла и времени, так как приток тепла нарастает сравнительно медленно, а запасы снега на поверхности Земли бывают велики. Осенью наоборот, выделяющаяся Скрытая теплота замерзания тормозит процесс установления зимы. Поэтому и существуют сезоны в умеренных широтах. Наглядное представление о выделяемых количествах тепла дает такое сравнение - 1 м^3 воды при замерзании выделяет примерно столько же тепла, сколько его получается при сжигании 1 кг угля. В течение весенне-осеннего сезонов за счет скрытой теплоты плавления (замерзания) происходит обмен таким количеством тепла, которое эквивалентно $2 \cdot 10^{11}$ тн, сожженного угля, что намного превышает годовую добычу его во всем мире.

Чтобы изменить температуру воды на 1°C , нужно затратить (добавить при нагревании) 4,19 ДЖ тепла. Эта величина называется удельной теплоемкостью. У воды она одна из самых высоких, значительно больше, чем у любого другого вещества, за исключением жидкого аммиака и водорода, и примерно в 10 раз больше, чем у пород, слагающих земную кору. Тепловые характеристики воды имеют огромное значение для климата Земли, в системе которого вода выступает хранителем и переносчиком тепла, а также тепловым тормозом и стабилизатором. Гидросфера гасит теплые и холодные импульсы через изменение интенсивности испарения или путем смены соотношения между массами таких составляющих, как твердая (ледники) и жидкая (в основном, океан). Вода, через океаническую составляющую гидросферы, уменьшает различия в температуре между



низкими (экваториальными) и высокими (полярными) широтами, так как мощные течения несут к полюсам огромные массы нагретой в тропиках воды, а от полюсов -холодные воды к тропикам. Теплые и холодные океанические течения настолько сильно воздействуют на омываемые ими участки континентов, что существенно меняют широтную географическую зональность. Наконец, вода на суше уменьшает разницу между дневными и ночными температурами, когда при образовании росы, изморози или тумана в приземном слое воздуха выделяется скрытая теплота. Увлажнение поверхности суши после осадков резко меняет физические свойства этой поверхности. Молекулы, находящиеся внутри массы воды, испытывают притяжение соседних молекул - магнетиков во всех направлениях. Если же молекула расположена на поверхности, то такое притяжение возможно только в нижней полусфере вокруг молекул.

Она как бы втягивается внутрь водной массы. Этим самым создается пленка поверхностного натяжения. Поверхностное натяжение воды больше, чем у любой другой жидкости, за исключением ртути, но внесение даже минимального количества добавок к воде резко уменьшает ее поверхностное натяжение. Предполагается, что у абсолютно чистой воды поверхностное натяжение таково, что по поверхности такой воды можно кататься на коньках. Есть насекомые, которые используют поверхностное натяжение для продвижения по акваториям. Может быть, библейская легенда о «хождении по водам» отражает когда-то существовавшее умение с помощью каких-то добавок приближать поверхностное натяжение воды к идеальному состоянию. В естественной воде много разнообразных включений, которые обычно снижают поверхностное натяжение, и поэтому оно не препятствует возникновению волн и ряби даже при не большом ветре. Волнение и рябь увеличивают площадь водной поверхности, так как она сморщивается. Для океана, например, это увеличение может достигать 50 % - гигантские волны.

А увеличение поверхности означает и рост испарения. Так в [2], на основе многолетних наблюдений за процессом испарения воды в созданных малых водохранилищах Таджикистана, проводившихся с 1978 по 1987годы отмечается, что в аридных зонах выделено три этапа: первый этап длится обычно столько времени, сколько наполняется водохранилище. С постепенным подъемом уровня воды или же его снижением возрастает или уменьшается испарение, происходящее исключительно с открытой водной поверхности. Этот этап, как и все остальные, происходит одновременно со стадиями развития и формирования водной растительности по времени лишь не намного (год-два) отличаясь от них. Этап испарения с открытой поверхности предшествует на 3-5 лет этапу испарения частично за счет транспирации водными растениями из-за необходимости последних набрать определенную биомассу. На пятом году жизни (2-ой этап) испарение малых водохранилищ Таджикистана [6]



будет происходить как за счет открытой водной поверхности, так и за счет растительности, с тенденцией к стабилизации и составит 1,13 м слоя воды в год. Завершающим этапом испарения является почти полное зарастание акватории, идущее вслед за интенсивным заилением водохранилищ, что приведет к стабильному уменьшению испарения с водной поверхности и росту транспирации воды макрофитами. Испарение с поверхности водохранилищ мало, чем будет отличаться от испарения с увлажненной прибрежной зоны [2]. В этот промежуток времени оно будет возрастать лишь в годы с большой водностью. С целью уменьшения потерь на испарение водохранилища необходимо строить, по возможности, емкими с незначительными площадями водного зеркала и большими глубинами. Выкашивание же макрофитов на водоемах может привести к уменьшению транспирации растениями и, следовательно, снизит величину потерь на испарение. В работах [3,4] приводятся сведения о развитии исследований испарения с поверхности Каспийского моря. Объем этих исследований значителен, однако до настоящего времени не получено надежного метода прогноза уровня Каспийского моря. С одной стороны это объясняется недостаточной изученностью его природы, а с другой - исследованием, в основном, лишь локальных особенностей его изменений, не связанных с глобальными процессами, происходящими на Земле. Учитывая, что это крупнейший водоем на Земле и его водосбор должен "почувствовать" климатические изменения глобального характера. В этой связи изменения уровня воды в нем можно рассматривать как некоторые проявления глобального масштаба. Изменения уровня воды в нем можно рассматривать как некоторые проявления глобального масштаба.

Для Каспийского моря справедливо уравнение водного баланса [3,6]:

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{U_b(t)}{S(H)} - E_b(t) \right) \cdot S(t), \quad (1)$$

где: V - объем водоема в момент времени t ; $U_b(t)$ - приток воды в единицу времени; $E_b(t)$ - слой видимого испарения ($E_b = E - P$), теряемый в единицу времени; E - испарение; P - осадки; $S(t)$ - площадь поверхности водоема.

Можно использовать также уравнение водного баланса вида:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{U_b(t)}{S(H)} - E_b(t), \quad (2)$$

где: H - уровень воды в водоеме в момент времени t ; $S(H)$ - площадь поверхности водоема при определении значения H .



Заметим, что успех исследования будет зависеть как от точности (методики) определения составляющих водного баланса, так и от выяснения причин их изменения, приток воды, площадь водоема, а также уровень воды в нем измеряются инструментально и только испарение рассчитывается. Недостаточная изученность испарения приводит к наибольшей неопределенности при использовании уравнений водного баланса. Осадки в водном балансе этого бассейна не превышают 20 % испарения и измеряются инструментально. Инструментальное же изменение испарения связано с большими сложностями, поэтому, как правило, оно рассчитывается. Наблюдения за испарением с поверхности Каспия ведутся достаточно давно (известны результаты измерения, выполненные еще А.И. Воейковым в 1884 г.) и достаточно систематически. При этом интегральные значения испарения и теплообмена определяются по осредненным (за месяц, год) исходным данным, что неизбежно влечет за собой ошибки из-за пренебрежения корреляциями между характеристиками воздуха и воды. Величина ошибок возрастает с увеличением периода осреднения и зависит от интенсивности взаимодействия водоема с атмосферой. Для учета этих ошибок были проведены дополнительные исследования и выполнены расчеты теплообмена и испарения с моря по первичной (не осредненной) гидрометеорологической информации [3,4,5]. Значения испарения с поверхности Каспия в разные годы по данным разных авторов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Среднегодовая характеристика испарения с поверхности Каспийского моря

Год	Испарение, см	Автор
1884	108,5	А.И. Войков
1924	125,0-135,0(130)	Н.М. Книновыч
1924	112,0	С.А. Ковалевский
1927	104,0	Л.Ф. Рудовиц
1928	10%,.)	А.И. Михалевский
1933	109,9	Г. Р. Брегман, А.И. Михалевский
1934	27,7	М.Д. Дундуков
1935	111,3	Б. А. Аполлов
1935	39,9	Г.Р. Бергман, А.И. Михалевский
1941	100,0	Л. К. Давыдов
1946	98,7	Б. Д. Зайков
1947	96,2	Г.Г.Пономоренко
1955	98,4	Е.Г. Архипова
1962	97,7	С. С. Ремизова
1963 1965	91,1 91,0	В.С. Самойленко Л. С. Елисеева
1966	101,1	О.И. Шереметьевская
1970	101,9	Н.П. Гонторев, Г.Н. Палин



1970	99,6	Е.Г.Архирова и др.
1972	101,0	К.С.Смирнова
1976	97,0	И.А.Шикиоманов (по данным ГОИИ)
1996	96,3	Г.Н.Панин

Из таблицы видно, что различия между среднегодовыми значениями испарения, определенными по разным методикам, в разные годы, невелики (стандартное отклонение $< 10\%$ среднего значения 102 см/год). Поэтому среднегодовое значение испарения - 1м/год можно использовать для сравнения [13-16]. Заметим, что совпадение среднегодовых значений испарения не означает идентичности внутригодового хода. Для устранения некачественной (сомнительной) информации в программе предусматривалось исключение явно ошибочных данных. Всего в расчетах использовалось -150 тыс. гидрометрических данных, довольно неравномерно распределенных по акватории.

Вывод: Для нас принципиально важно то обстоятельство, что при анализе изменчивости испарения и теплообмена используются карты основных среднемесячных характеристик воздуха (скорость ветра, температура воздуха, точка росы) и температура воды [3,4].

Учитывая, что по данным расчета водного баланса хвостохранилища «Кошкар-Ата» расположенного в непосредственной близости от Каспийского моря, средняя величина испарения и фильтрации за 15 лет составляет 1,20 м [5,6], можно с достаточной уверенностью задаться величиной испарения по 1,0 м, что коррелируется с многолетними данными по Каспийскому морю, хотя в случае хвостохранилища «Кошкар-Ата» имеет место высокое солесодержание (почти на порядок выше), что замедляет процесс испарения, повышенная температура в отстойном пруде при небольшой его глубине [7].

Таким образом, сама природа способствует замедлению процесса испарения высокотоксичной жидкости с поверхности «прудка». Вместе с тем промедление в решении вопроса стабилизации уровня водного зеркала, может обострить обстановку в районе прилегающем к хвостохранилищу.

Список литературы:

1. Бочкарева Т.В. Экологический «джин» урбанизации. М., 2008. с 61.
2. Арефьев В.Я. Заключение об инженерно-геологических условиях площади хвостохранилища Кошкар-Ата. Стадия: технический проект. Пятигорск. 1962. с 14.
3. Борисов Н.Н. Отчет по определению возможных путей фильтрации сточных вод впадины Кошкар-Ата в Каспийское море. М., Космоаэрологическая экспедиция №1. 1991. с 97.



4. Борисов Н.Н. Оценка экологической ситуации города Актау. М., КАГЭ. №1. 1993. с 18.
5. Гусев В.А. Отчет об инженерно-геологических исследованиях в районе впадины Кошкар-Ата. 1958-1959 гг. 1959. с 21.
6. Отчет по НИР: Снижение экологического влияния хвостохранилища на окружающую среду. Ташкент. СазНИПИпт, 1992. с 55.
7. Кенжетаев Г.Ж, Жакаева Г. Негативное влияние хвостохранилища Кошкар-Ата на окружающую среду, 2015.