

УДК [556.552.001.24 + 556.555.2.001.18] (262.83)

**О МОДЕЛИРОВАНИИ УРОВНЕЙ АРАЛЬСКОГО МОРЯ
И ЕГО ЧАСТЕЙ НА ПЕРСПЕКТИВУ**

Канд. техн. наук С.П. Шиварева
Б.А. Смердов

Предложены усовершенствованные методики определения уровней и слагаемых водного баланса уровней моря и его частей. Расчет испарения основан на решении уравнения теплового баланса с учетом изменения солености и глубины. Дан вероятностный прогноз перспективных изменений уровня при различных антропогенных нагрузках в бассейне моря.

Резкое падение уровня Аральского моря и разделение его на две части обусловило необходимость разработки усовершенствованных методов расчета слагаемых водного баланса и уровней в современных условиях. В настоящее время многие исследователи, в том числе и зарубежные, ведут поиски способов ослабления негативных последствий, связанных с прогрессирующим усыханием и осолонением моря путем сохранения частей моря и регулирования водопотребления в его бассейне. Для этих целей необходимо знание современного гидрологического режима моря и обоснованный расчет его изменения в перспективе. К сожалению, в 90-е годы из-за финансовых трудностей сокращен объем гидрологических наблюдений на море и в его бассейне. Потому научные разработки по данной теме актуальны и приобретают особую практическую ценность.

В основу разработанного метода расчета уровня Аральского моря положены усовершенство-

ванные методики оценки основных его слагаемых: испарения, осадков и речного стока.

Слой испарения с водной и снежно-ледяной поверхности рассчитаны теплобалансовым методом, учитывающим взаимодействие многих факторов, влияющих на процесс испарения [1-4]. Для определения слоев атмосферных осадков, выпадающих на поверхность моря и его частей, выполнена корректировка измеренных срочных сумм осадков на всех метеостанциях за все годы наблюдения [5].

Поступление речного стока в море оценивалось в зависимости от водных ресурсов р. Сырдарья и Амударья, естественных и антропогенных потерь в их бассейнах, с учетом потерь стока в пределах дельт.

С 1989 г. Аральское море разделилось на Малое и Большое. В 1995 г. перепад уровней достиг 3,2 м. Малое море стало проточным водоемом, а Большое - замкнутым. Таким образом, уравнение годового водного баланса Малого Арала можно записать в виде

$$W_{к.м} = W_{н.м} + V_{с-д} + V_{ос.м} - V_{ис.м} - W_{п}, \quad (1)$$

а для Большого Арала - в виде

$$W_{к.б.} = W_{н.б.} + V_{а-д} + W_{п} + V_{ос.б.} - V_{ис.б.}, \quad (2)$$

где $W_{н.м}$ и $W_{к.м}$ - объемы водной массы Малого Арала в начале и конце расчетного года, $км^3$; $W_{н.б.}$ и $W_{к.б.}$ - объемы водной массы Большого Арала в начале и конце расчетного года, $км^3$; $V_{с-д}$ и $V_{а-д}$ - объемы воды, поступающей в Малый Арал из Сырдарьи и в Большой Арал из Амударьи, $км^3/год$; $V_{ос.м}$ и $V_{ос.б.}$ - объемы воды, поступающей на поверхность Малого и Большого Арала в виде атмосферных осадков, $км^3/год$; $V_{ис.м}$ и $V_{ис.б.}$ - объемы воды, испаряющейся с водных и снежно-ледяных поверхностей Малого и Большого Арала, $км^3/год$; $W_{п}$ - объем воды, перетекающий через пролив Берга из Малого Арала в Большой, $км^3/год$.

Натурные наблюдения за испарением с водной поверхности на гидрометеостанциях Аральского моря никогда не проводились. Поэтому для оценки величины испарения с поверхности Аральского моря использовались теоретические или эмпирические формулы. В данной работе испарение с Аральского моря рассчитывалось теплобалансовым методом, включающим в себя три этапа: определение средних значений метеовеличин для водоема или его частей, расчет температуры поверхности моря из полного уравнения теплового баланса, расчет слоя испарения. Средние для акваторий Малого и Большого Арала значения метеовеличин вычислялись по уточненным для условий Аральского моря трансформационным формулам, используя показания близлежащих метеорологических станций.

Температура водной поверхности ($t_{п.к}$) определялась по формуле, выведенной из уравнения теплового баланса водной массы моря за безледный период при условии неизменности уровня моря за расчетный период [1, 3],

$$t_{п.к} = t_{п.н} + \frac{\tau}{c\mu H_{ср}} (Q_{ср} + Q_a - Q_k - Q_{изл} - Q_{исп} + Q_{ад}), \quad (3)$$

где $t_{п.н}$ - начальная температура поверхности моря, $^{\circ}\text{C}$; τ - расчетный интервал времени, с; c - объемная теплоемкость воды, $\text{дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$; μ - отношение средней по вертикали температуры воды к температуре поверхности; $H_{ср}$ - средняя глубина моря, м; $Q_{ср}$ и Q_a - поглощенные испаряющей поверхностью плотности тепловых потоков суммарной солнечной радиации и встречного излучения атмосферы, $\text{Вт}/\text{м}^2$; Q_k и $Q_{изл}$ - плотности контактного теплообмена с атмосферой и теплового излучения, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $Q_{исп}$ и $Q_{ад}$ - поверхностные плотности тепловых потоков фазового превращения воды в пар и адвекции, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Температура поверхности снежно-ледяного покрова t_c вычислялась по формуле, полученной путем решения уравнения теплового баланса поверхности снежного покрова [8, 9],

$$t_c = \frac{(A_c - A_0)h_3 + \lambda t_{кр}}{ah_3 + \lambda}, \quad (4)$$

где $(A_c - A_0)$ - результирующая плотностей тепловых потоков поверхности снежно-ледяного покрова при температуре ее равной нулю и отсутствии теплототока через этот покров, Вт/м²; h_3 - толщина снежно-ледяного покрова, м; λ - коэффициент теплопроводности льда, Вт/(м·К); $t_{кр}$ - температура воды, при которой начинается ее кристаллизация, °С; a - коэффициент теплообмена, зависящий от скорости ветра, температуры воздуха и атмосферного давления, Вт/(м²·К).

Величины температуры воды и снежно-ледяного покрова зависят от составляющих теплового баланса следующим образом. Как показали расчеты, в среднем за год водная масса Аральского моря приобретает 38 % теплоты от суммарной солнечной радиации $Q_{ср}$ и 62 % - от встречного излучения атмосферы Q_a , а расходует 68 % теплоты за счет теплового излучения $Q_{изл}$ и 32 % - за счет фазового превращения воды в пар $Q_{исп}$.

Расчет слоя испарения E с водной поверхности, основываясь на законе Дальтона, производился по формуле

$$E = K_c (e_n - e_2) \tau, \quad (5)$$

где K_c - коэффициент испарения, характеризующий условия отхода водяного пара от испаряющей поверхности, м/(сут·гПа); e_n - максимальное парциальное давление водяного пара при температуре испаряющей поверхности воды, гПа; e_2 - парциальное давление водяного пара на высоте 2 м над поверхностью моря.

Для оценки коэффициента K_c предлагается использовать формулу Браславского (6), учитывающую влияние свободной и вынужденной конвекции на интенсивность испарения [1],

$$K_c = \frac{1}{1/k + 1/k_0}, \quad (6)$$

где k - коэффициент испарения слоя атмосферы, находящегося под мягко-буферным подслоем атмосферы, м/(сут·гПа); k_0 - коэффициент испарения в вакууме, м/(сут·гПа).

Расчет слоя испарения со снежно-ледяной поверхности $K_{c-л}$ производился по формуле (7), предложенной в работе [9],

$$K_{c-л} = 0,00026 [U_2 / (0,916 + 0,00634 t_2)]^{0,7}, \quad (7)$$

где U_2 - скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью моря, м/с; t_2 - температура воздуха на высоте 2 м над поверхностью моря, °С.

Резкие изменения морфометрических характеристик Аральского моря существенно повлияли на расчеты трансформации воздушной массы над водной поверхностью и тепловых потоков поглощенной водой суммарной солнечной радиации. Влияние возрастающей солености морской воды учитывалось в расчетах температуры кристаллизации и плотности морской воды, теплопроводности и теплоемкости льда, а также максимального парциального давления водяного пара при температуре поверхности воды.

Испарение с поверхности Малого Арала определялось как среднеарифметическое из рассчитанных величин испарения по данным двух метеорологических станций: Аральское море и Баян. Испарение с поверхности Большого моря вычислялось как среднеарифметическое из рассчитанных величин испарения по данным следующих метеорологических станций: о. Лазарева, о. Барсакельмес, Уялы,

Муйнак. Результаты расчета представлены в виде кривых обеспеченности, параметры которых приведены в табл.1. Рассчитанные величины испарения использовались для моделирования уровня обеих частей Аральского моря.

Таблица 1

Параметры теоретических кривых обеспеченности рассчитанных слоев испарения с поверхности обеих частей Аральского моря

Слой испарения, мм,								
Средний	обеспеченность, %							
	1	3	5	25	50	75	95	99
Малый Арал								
960	883	893	902	931	960	979	1027	1056
Большой Арал								
966	898	907	911	937	956	985	1034	1092

Величина испарения относится к расходной части водного баланса водоема, поэтому наименьшие слои испарения соответствуют малым величинам на кривой обеспеченности (1, 3, 5 %). Например, с поверхности Малого Арала может испариться с вероятностью один раз в сто лет слой воды не менее чем 883 мм, а с поверхности Большого Арала - 898 мм. В течение последних 50 лет слои испарения с такой редкой повторяемостью наблюдались в 1958 г. (с поверхности Большого Арала испарилось всего 884 мм) и в 1960 г. (с поверхности Малого Арала испарилось 877 мм).

Слой воды, испарившийся с поверхности Большого Арала, на 10-12 мм больше, чем с Малого Арала. В аномально холодные и теплые годы эта разность может достигать 36 мм. Среднеголет-

ний годовой слой испарения с поверхности Малого моря равняется 960 мм, а Большого - 966 мм. Из года в год величина испарения изменяется незначительно, коэффициент вариации не превышает 0,04. Наиболее высокое испарение, превышающее один метр, наблюдалось в 1990 г. (1052 мм) и 1991 г. (1087 мм).

Для расчета водного баланса Аральского моря и его частей по уравнениям (1) и (2) необходимо знать объемы воды, испарившейся с их поверхностей. В качестве примера в табл. 2 приведены объемы испарения для двух периодов, когда Аральское море было единым водоемом и разделенным на две части.

Таблица 2

Объем воды, испарившейся с поверхности
Аральского моря и его частей

Год	Объем испарения (км ³) с поверхности		
	Аральского моря	Большого Арала	Малого Арала
1984	44,73		
1985	42,52		
1986	41,71		
1987		34,61	2,70
1988		36,19	2,98
1989		35,23	2,90
1990		35,01	3,13
1991		34,78	3,24
1992		28,84	2,76
1993		28,85	2,79

Объем испарения определялся путем умножения годового слоя испарения на среднюю за год площадь Аральского моря и его частей. Как видно из табл. 2, в течение последних десяти лет объем испарения значительно изменился по сравнению с изменением слоя испарения. Динамика объема испарения является наиболее существенным показателем роста или спада уровня моря в условиях резкого уменьшения речного стока. Рассчитанные теплобалансовым методом слои испарения с поверхности обеих частей Аральского моря представляют собой результат взаимодействия многих факторов, влияющих на процесс испарения. Реализация этого метода выполнена на ПЭВМ с помощью авторского программного средства "ARAL".

В 90-е годы отсутствуют данные наблюдений за уровнем моря в Малом Арале. В этих условиях выполненные расчеты испарения приобретают особую ценность, так как по ним можно восстановить уровень Малого моря за прошедшие годы и прогнозировать его на перспективу.

Количество атмосферных осадков, выпадающих на акваторию Аральского моря, невелико, однако в связи с резким сокращением речного стока в последние десятилетия относительная их роль в водном балансе моря существенно возросла. В рамках данной работы ставилось две задачи при расчете атмосферных осадков. Первая - разработать способ корректировки измеренных на метеостанциях величин атмосферных осадков. Вторая - рассчитать многолетние ряды слоев атмосферных осадков, выпадающих на поверхность обеих частей Аральского моря, с целью моделирования их уровней на перспективу. Для решения этих задач разработано программное средство "OSADKI" на ПЭВМ.

Результаты расчета годовых сумм осадков, выпадающих на акватории Малого Арала и Большого, представлены в виде кривых обеспеченности, пара-

метры которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

Годовые суммы атмосферных осадков, выпадающих на поверхность обеих частей Аральского моря, различной обеспеченности

Годовая сумма атмосферных осадков, мм								
Средняя	обеспеченность, %							
	1	3	5	25	50	75	95	97
	Малый Арал							
198	335	305	291	232	194	160	117	107
	Большой Арал							
181	328	290	275	210	174	145	110	103

Наибольшие величины соответствуют малым редко повторяющимся величинам обеспеченности (1, 3, 5 %), следовательно, всего один раз в сто лет на акваторию Малого Арала могут поступить атмосферные осадки в сумме 335 мм в год, а на акваторию Большого - 328 мм в год.

В качестве нормы можно рекомендовать величину атмосферных осадков, соответствующую 50 % обеспеченности теоретической кривой, равной для Малого Арала 194 мм в год, а для Большого - 174 мм в год. Среднемноголетнее значение осадков по Малому морю за 53 года (198 мм) и Большого моря за 43 года (181 мм) очень близко к норме. В течение последнего десятилетия, семь лет из десяти, атмосферные осадки были выше нормы.

На акваторию Малого Арала, расположенного севернее Большого, выпадает на 10 - 20 мм атмосферных осадков больше. Если же сравнивать объемы атмосферных осадков, поступающих на поверхность обеих частей моря, то этот объем на целый поря-

док выше для Большого моря, чем для Малого (табл. 4).

Таблица 4

Объем атмосферных осадков, выпадающих за год на поверхность Аральского моря и его частей

Год	Объем осадков (км ³) на поверхность		
	Аральского моря	Большого Арала	Малого Арала
1984	4,51		
1985	5,99		
1986	7,19		
1987		7,41	0,66
1988		8,26	0,78
1989		5,38	0,59
1990		5,51	0,41
1991		6,59	0,61
1992		6,67	0,64
1993		7,26	0,70

Полученные ряды исправленных атмосферных осадков использовались для составления годовых балансов и для моделирования уровня обеих частей моря. Они также могут найти применение при оценке изменения климатических характеристик Аральского региона.

Вычисления хода уровня Аральского моря выполнены по зависимостям, выведенным из решения системы дифференциальных уравнений [6, 7],

$$\begin{cases} dW_0 = (W_p - Z \cdot F) dt \\ dW_M = FdH \end{cases}, \quad (8)$$

где dW_0 - приращение водного баланса водоема за время dt , км³; W_p - объем поступающего в водоем

речного стока, км³; Z - слой видимого испарения с поверхности водоема за dt, км; F - площадь зеркала водоема км²; dW_м - приращение объема при изменении его уровня на dH, км³.

Зависимость площади моря F от уровня моря H аппроксимирована последовательными отрезками прямых, описываемых уравнением,

$$F = aH + b, \quad (9)$$

где a - морфометрический коэффициент, км; b - параметр, км².

Подстановка в (8) линейной зависимости площади от уровня (9) и решение этой системы относительно переменной t при условии, что приращение объема воды в чаше водоема равно разности между приходной и расходной частями его водного баланса, т.е. dW_м = dW_δ, приводит к формуле

$$t = \frac{1}{Z} \left[\frac{W_p}{aZ} \ln \left| \frac{W_p - Z(aH_K + b)}{W_p - Z(aH_H + b)} \right| - H_K + H_H \right], \quad (10)$$

где t - интервал времени, необходимый для изменения уровня водоема от начального (H_н) до конечного (H_к) значения при фиксированных величинах W_p и Z.

Потенцирование выражения (10) приводит к формуле (11) для расчета высоты уровня в конце интервала времени t

$$H_K = \left(H_H - \frac{W_p}{a \cdot Z} + \frac{b}{a} \right) e^{-N} + \frac{W_p}{a \cdot Z} - \frac{b}{a}, \quad (11)$$

где

$$N = \frac{a \cdot Z (Z \cdot t + H_K - H_H)}{W_p}$$

Неявная форма выражений (11) затрудняет их использование в расчетах, поэтому в качестве рабочей формулы принято одно из приближений в виде зависимости

$$H_k = \sqrt{\left(H_H + \frac{b}{a} - \frac{Z \cdot t}{2} \right)^2 + 2 \frac{Wp \cdot t}{a} - \frac{Z \cdot t}{2} - \frac{b}{a}} \quad (12)$$

Для расчетов на ПЭВМ различных вариантов режима Аральского моря разработана программа "ARALUR". Программа позволяет решать как прикладные, так и научные задачи, а ее блочная структура дает возможность последующего расширения и совершенствования.

В настоящее время с помощью этой программы можно в диалоговом режиме рассчитывать особенности многолетнего хода и стабилизации уровня Аральского моря, находящегося как в условиях разделения его на части при спаде уровня, так и объединения при подъеме уровня. Кроме этого, предусмотрен расчет хода уровня в условиях сооружения плотины между Малым и Большим морями в бывшем проливе Берга.

Пример расчета хода уровня Аральского моря с коррекцией коэффициентов потерь стока в дельтах Сырдарьи и Амударьи представлен на рис. 1 а, 1 б. При нулевых потерях стока (рис. 1 б) уровень Аральского моря достигает в 1987 г. отметки гребня перелива (40,5 м абс.), море разделяется, и отметки уровней Малого и Большого морей расходятся. В этом году сток Сырдарьи меньше объема испарения с поверхности Малого моря, уровень моря понижается на 5 см, переток отсутствует.

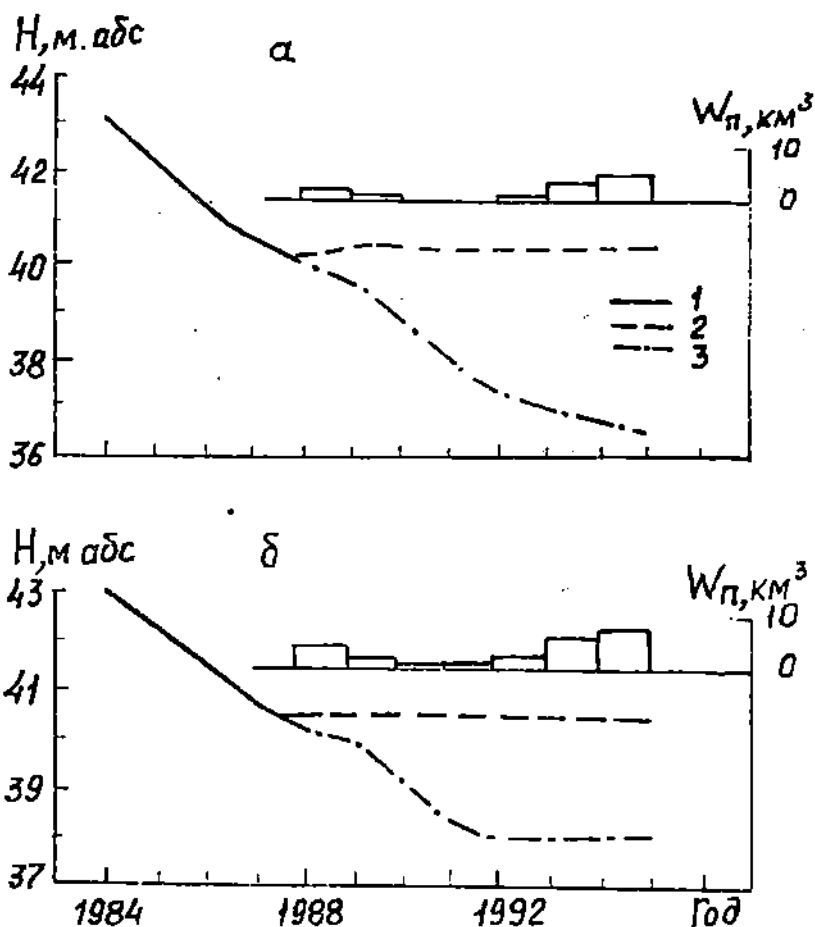


Рис.1. Ход уровня Аральского моря (1), Малого (2), Большого (3) морей и перетока $W_{п}$ из Малого моря в Большое при учете (а) и неучета (б) потерь стока в дельтах рек Сырдарья и Амударья

В последующие 1988-1994 гг. сток Сырдарьи превышает испарение с поверхности Малого моря

Переток в Большое море увеличивается, уровень Малого моря стабилизируется на отметке перелива, а уровень Большого моря опускается до отметки около 38 м абс.

В действительности уровень Большого моря к концу 1994 г. упал до 36,8 м абс., а уровень Малого моря в отдельные годы понижался - на космических снимках отмечалось обсыхание протоки между рассматриваемыми частями Аральского моря. После назначения коэффициентов потерь стока в дельтах Сырдарьи и Амударьи, равных соответственно 0,3 и 0,4, результаты моделирования хорошо согласуются с фактическим уровнем.

В табл.5 приведены результаты воднобалансовых расчетов, для которых исходной информацией являлись: уровень всего моря, равный 40,5 м; объем стока, поступающий из дельт рек Сырдарья и Амударья; рассчитанные слои испарения и атмосферных осадков.

Измеренные уровни Большого Арала использовались для определения невязки баланса. Объем перетока воды из Малого Арала в Большой вычисляется при условии, что уровень Малого Арала не может подняться выше отметки 40,5 м. Невязка баланса включает в себя ошибки измерения уровня моря, речного стока и, в меньшей степени, видимого испарения.

Анализируя водный баланс Малого Арала и Большого за период 1988-1994 гг. (табл.5), можно отметить следующее. В условиях разделения Аральского моря для водного баланса Малого Арала характерно равенство приходных и расходных составляющих. Величина перетока воды из Малого Арала в Большой является результирующей баланса Малого Арала. В многоводные 1993,1994 годы объем этого перетока составлял 66 % от объема стока р.Сырдарьи в море.

Водный баланс Большого Арала в течение 1987-1994 гг. отрицательный, так как расход воды превышал его приход. В результате этого уровень Большого моря понизился от 40,5 м до 36,6 м.

Таблица 5

Водный баланс Аральского моря, разделенного на две части

Год	Речной сток, км ³	Видимое испарение, км ³	Переток, км ³	Баланс рассчитанный, км ³	Баланс фактический, км ³	Невязка баланса, км ³
-----	------------------------------	------------------------------------	--------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------

Малое море

1988	4,80	-2,34	-2,46	0	-	-
1989	3,04	-2,70	-0,34	0	-	-
1990	2,52	-2,52	0	0	-	-
1991	2,58	-2,58	0	0	-	-
1992	3,18	-2,12	-1,06	0	-	-
1993	6,19	-2,09	-4,10	0	-	-
1994	7,14	-2,34	-4,80	0	-	-

Большое море

1987	4,78	-27,49	0	-22,71	-24,78	-2,07
1988	9,19	-28,12	2,46	-16,47	-13,46	3,01
1989	0,84	-29,96	0,34	-28,78	-14,20	14,58
1990	3,92	-29,60	0	-25,68	-43,35	-17,67
1991	5,76	-28,24	0	-22,48	-16,10	6,38
1992	11,44	-22,06	1,06	-9,56	-9,50	0,06
1993	9,08	-21,31	4,10	-8,13	-2,41	5,72
1994	11,71	-23,38	4,80	-6,87	-	-

В течение 1994 г. интенсивность спада уровня Большого моря уменьшилась до 5 см. Это произошло, как видно из данных табл. 5, в основном за счет увеличения перетока воды из Малого Арала в Большой. Следует отметить, что по мере поступления информации об уровне Малого моря, величине

перетока, речном стоке, непосредственно поступающем в море, величина невязки может быть уменьшена. Наибольшая величина невязки $17,67 \text{ км}^3$ получилась в 1990 г., и она составляет 5,8 % от объема водной массы Большого моря, равного в начале этого года $302,9 \text{ км}^3$. Наименьшая невязка, равная $0,06 \text{ км}^3$, составляет всего 0,025 % от начального объема 1992 г. ($243,5 \text{ км}^3$).

Полученные невязки позволяют считать, что разработанный метод расчета водного баланса вполне приемлем и может успешно реализован в современных условиях при отсутствии данных наблюдений за уровнем в Малом море и ограниченной информации об уровне Большого моря. С помощью разработанного программного средства "ARALUR" выполнено моделирование уровней Аральского моря и его частей на перспективу. В моделированных расчетах речной сток к морю определяется по формулам

$$V_{с-д} = (V_{рес.с.} - P_{ест.с} - P_{ант.с}) - P_{д.с..} \quad (13)$$

$$V_{а-д} = (V_{рес.а.} - P_{ест.а} - P_{ант.а}) - P_{д.а..} \quad (14)$$

где $V_{рес.с.}, V_{рес.а.}$ - водные ресурсы р.Сырдарья и Амударья, $\text{км}^3/\text{год}$; $P_{ест.с}, P_{ест.а}$ - естественные потери стока р.Сырдарья и Амударья, $\text{км}^3/\text{год}$; $P_{ант.с}, P_{ант.а}$ - антропогенные потери стока р.Сырдарья и Амударья, $\text{км}^3/\text{год}$; $P_{д.с.}, P_{д.а.}$ - потери стока в пределах дельт р.Сырдарья и Амударья, $\text{км}^3/\text{год}$.

Расчеты уровней выполнены по наблюдаемому сочетанию естественных рядов за 1932-1994 гг., водных ресурсов, слоев испарения и атмосферных осадков. Выбранный ряд является репрезентативным для среднемноголетних условий.

В моделированных расчетах естественные потери рассчитывались по их зависимости от величины водных ресурсов. Моделирование уровней выполнено для четырех вариантов антропогенных нагрузок в бассейнах рек. Результаты расчета хода

уровня для четырех вариантов водопотребления показаны на рис.2.

Как показали расчеты, воссоединить Аральское море в единый водоем с отметкой его уровня 44 м возможно, если, начиная с 1996 г. и в течение 50 лет, антропогенная нагрузка в бассейне будет равна той величине, какая была до 1960 г. Вряд ли в ближайшее время, даже в многоводные годы, удастся так резко сократить безвозвратное водопотребление в бассейне рек. Если же сохранить в будущем антропогенную нагрузку на водосборный бассейн, соответствующую развитию ирригации в семидесятые годы, то уровень Малого Арала может поддерживаться на современной отметке 40,5 м, а уровень Большого Арала будет падать, и к 2030 г. Большое море разделится на две части. Этот расчет наиболее реальный, так как в бассейнах р.Сырдарья и р.Амударья уже проводятся мероприятия по уменьшению безвозвратных потерь стока по сравнению с современными потерями. Выполненные разработки могут быть использованы при проектировании водохозяйственных и инженерных мероприятий, связанных с решением проблемы Аральского моря.

Учитывая огромную экологическую значимость моря, характер его взаимосвязи с окружающей средой, необходимо продолжить комплексные научные исследования по гидрометеорологии и гидрохимии моря и его частей. Предложенный воднобалансовый метод расчета уровня является хорошим научным заданием для выполнения актуальных работ по гидрохимии моря, в частности, для разработки метода расчета солености Малого Арала и Большого.

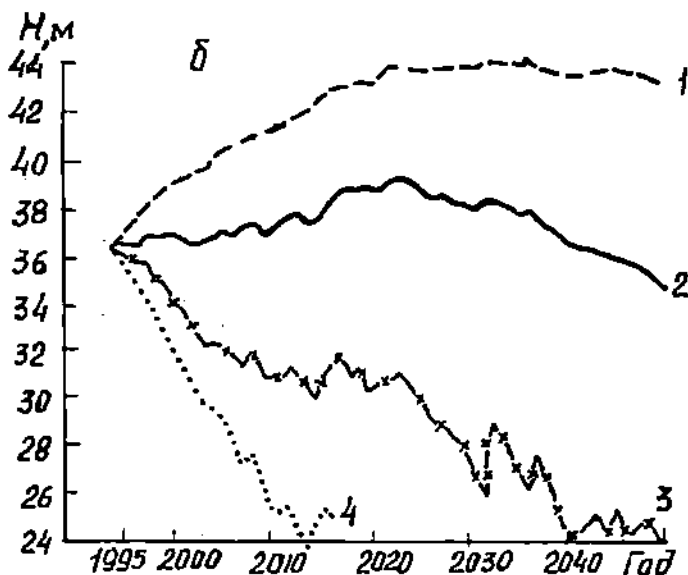
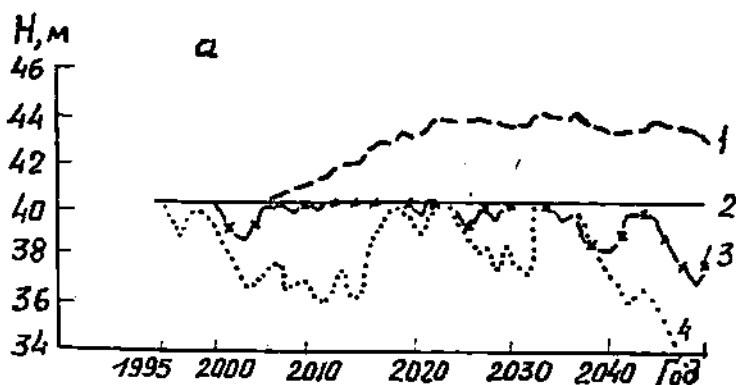


Рис. 2. Перспективные изменения уровня Малого (а) и Большого (б) Арала при четырех вариантах антропогенных потерь стока в бассейнах рек Сыр-дарья и Амударья (1-4)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браславский А.П., Кумарина С.П., Смирнова М.Е. Тепловое влияние объектов энергетики на водную среду.- Л.: Гидрометеоздат, 1989.-252 с.
2. Браславский А.П., Чистяева С.П. Расчет испарения воды с поверхности озера Балхаш по усовершенствованной методике // Тр. КазНИГМИ.-1978.-Вып.68.-С.3-44.
3. Браславский А.П., Чистяева С.П. Усовершенствование методики расчета слагаемых теплового баланса водоемов //Тр. КазНИГМИ. - 1989.-Вып.104.- С.86-96.
4. Браславский А.П., Чистяева С.П. Применение теплобалансового метода для расчета испарения воды с поверхности различных природных ландшафтов // Тр. КазНИГМИ. - 1991.- Вып.107.- С.4-15.
5. Браславский А.П., Чистяева С.П. Определение исправленных атмосферных осадков по методике ГГО - КазНИГМИ // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1979.-Вып.65.- С. 3-94.
6. Смердов Б.А. Особенности колебаний и закон распределения уровня бессточного водоема на примере Аральского моря // Тр. КазНИГМИ. - 1988.-Вып.101.-С.15-35.
7. Смердов Б.А. К расчету характеристик уровня режима Аральского моря // Тр. КазНИГМИ.-1991.-Вып.107.-С.171-183.
8. Чистяева С.П. Оценка изменений составляющих теплового баланса Аральского моря // Тр. КазНИГМИ.-1988.- Вып. 101.-С.3-17.
9. Чистяева С.П. Применение теплового баланса к расчету ледового режима Аральского моря // Тр. КазНИГМИ. - 1989. - Вып.104.- С.101-112.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

АРАЛ ТЕҢІЗІ ДЕҢГЕЙІН ЖӘНЕ ОНЫҢ БӨЛІКТЕРІН КЕЛЕШЕКТЕ МОДЕЛДЕУ ТУРАЛЫ

Техн. ғ. канд. С.П. Шиварева
Б.А. Смердов

Теңіздің деңгейін есептеу және оның бөліктеріндегі су теңгерімі әдістерін жетілдіру ұсынылады. Тұздану мен судың саяздануындағы өзгерістерді ескере отырып, жылылық теңгерімін теңестіруге сүйенілген буланудың есебі жасалады. Теңіз айдыны деңгейінің өртүрлі антропогендік ауыртпалықтан болатын алдағы өзгерістерінің есебі (болжамы) ұсынылған.