

М. А. КЛОЧКО

**ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ
СОЛЕВОГО И ВОДНОГО БАЛАНСА БЕССТОЧНЫХ ОЗЕР
И ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ**

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 7 VIII 1950)

1. Вопросы изменения солевого баланса природных водоемов мало разработаны, особенно для внутренних морей⁽¹⁾ и бессточных озер. Последние, являясь конечными пунктами бессточных бассейнов, накапливают соли во все возрастающих количествах; однако при устройстве стока из такого озера вода в нем может опресняться. Опреснение может также иметь место в обладающем большим речным стоком внутреннем море при прекращении доступа в него более соленых вод соседнего моря или океана.

Изменение солевого баланса природных водоемов в сторону опреснения может представлять иногда самостоятельный интерес.

Мы рассмотрим здесь зависимость срока опреснения природного водоема до некоторого наперед заданного малого содержания общей суммы солей в нем от элементов его водного баланса.

2. Пусть имеется озеро (или внутреннее море) с объемом водной массы равным A км³ и соленостью равной $a\%$. Допустим, что при максимальном повышении уровня за счет речного стока (например, после паводка) объем озера увеличился на Π км³, после чего производится слив из него C км³ воды.

Убыль из озера будет отличаться от объема слива C на алгебраическую сумму объемов испарения, осадков и речного стока за соответствующее время. Ввиду приближенного характера наших расчетов мы величиной этой суммы пренебрегаем.

Предположив, что ежегодно совершается одна операция слива воды из озера, определим, сколько лет требуется для понижения процента солей в нем от первоначального $a\%$ до другого наперед заданного $b\%$.

3. После прибавления к озеру Π км³ практически пресной речной воды объем его будет равен $(A + \Pi)$ км³ и, так как содержащиеся в нем соли распределятся по большему объему, то их концентрация a_1 (в процентах) уменьшится и может быть определена из отношения объемов озера до слива и после него, а именно:

$$a_1 = a \frac{A}{A + \Pi}. \quad (1)$$

После слива C км³ объем озера будет к концу первого года равен $(A + \Pi - C)$ км³.

После достижения озером максимального уровня во втором году его объем будет равен $[(A + \Pi - C) + \Pi] = (A + 2\Pi - C)$ км³, а про-

центное содержание солей в нем a_2 будет равно:

$$a_2 = a_1 \frac{A + \Pi - C}{A + 2\Pi - C} = a \frac{A}{A + \Pi} \frac{A + \Pi - C}{A + 2\Pi - C}. \quad (2)$$

Таким же образом легко вывести, что в k -м году процент солей a_k , который мы обозначили через b , будет равен:

$$a_k = b = a \frac{A(A + \Pi - C)(A + 2\Pi - 2C) \dots [A + (k-2)\Pi - (k-2)C][A + (k-1)\Pi - (k-1)C]}{(A + \Pi)(A + 2\Pi - C)(A + 3\Pi - 2C) \dots [A + (k-1)\Pi - (k-2)C][A + k\Pi - (k-1)C]}. \quad (3)$$

В уравнении (3) все величины, кроме k , известны, но решение его относительно k привело бы к очень сложному выражению. Однако в некоторых частных (практически важных) случаях уравнение (3) решается весьма просто.

4. Допустим, например, что объем слива равен увеличению объема озера при достижении им максимального уровня, т. е. пусть

$$C = \Pi. \quad (4)$$

Тогда легко видеть, что уравнение (3) примет следующий вид:

$$b = a \frac{A^k}{(A + \Pi)^k}. \quad (5)$$

откуда

$$k = \frac{\lg a - \lg b}{\lg(A + \Pi) - \lg A}. \quad (6)$$

Исследование выражения (6), которое напоминает формулу Бунзена для промывания аналитических осадков⁽²⁾, показывает, что если вместо однократного приливания Π км³ речной воды прибавлять ее двумя или несколькими равными порциями с последующим сливанием соответствующей части объема C , то сроки опреснения уменьшатся.

5. Если объем слива вдвое превышает объем Π , т. е. если

$$C = 2\Pi, \quad (7)$$

то уравнение (3) примет следующий вид:

$$b = a \frac{A - (k-1)\Pi}{A + \Pi}, \quad (8)$$

откуда

$$k = \frac{A + \Pi}{\Pi} \left(1 - \frac{b}{a}\right). \quad (9)$$

Если b имеет величину порядка 0,1, а отношение b/a при солености водоема a , превышающей 1%, меньше 0,1, то выражение $1 - b/a$ близко к единице и срок, требуемый для уменьшения процентного содержания солей в водоеме в 10 раз при $C = 2\Pi$ равен $\frac{A + \Pi}{\Pi} \cdot 0,9$, т. е. в основном определяется отношением $\frac{A + \Pi}{\Pi}$. При этом объем воды в озере уменьшается на Π км³ ежегодно и к концу срока опреснения этот объем будет в несколько раз меньше первоначального. Если Π мало по сравнению с A , т. е. объем речного стока, большую часть которого составляет Π , мал по сравнению с объемом озера, то приближенный срок опреснения определяется отношением A/Π .

6. Это отношение при замене величины части речного стока Π на полную его величину B принимает вид

$$Z = \frac{A}{B} \tag{10}$$

и указывает число лет, необходимых для заполнения пустого озера водами речного стока (при элиминировании испарения); мы предлагаем назвать его показателем заполнения.

7. Второй важной характеристикой баланса бессточных водоемов является так называемый показатель испарения, который равен частному от деления средней глубины водоема Γ на разность высот столбов годового испарения I и годовых осадков D :

$$P = \frac{\Gamma}{I - D} \tag{11}$$

Показатель испарения указывает число лет, требуемых для испарения всего водоема при элиминировании речного стока.

При правильном учете элементов водного баланса замкнутого водоема и при малой роли грунтового питания и подземного стока из водоема показатель заполнения должен быть равным показателю испарения. В самом деле, величина, обратная показателю заполнения, указывает на часть объема озера, которая заполняется в течение одного года речным стоком, а величина, обратная показателю испарения, определяет часть объема озера, убывающую в течение одного года вследствие разности между объемами испарения и осадков.

Если объем озера не изменяется в течение длительного времени, то приход воды равен ее расходу, т. е. равны обратные величины этих показателей, а следовательно, равны и сами показатели. Это равенство имеет место для Каспийского моря (см. табл. 1), что говорит о незначительной роли грунтового обмена в водном балансе этого моря или, во всяком случае, о равенстве прихода и расхода воды через грунт.

Таблица 1

Водоем	Площадь акватории в км ²	Объем водной массы А в км ³	Годовой речной сток В в км ³	Средняя глубина Г в м	Высота над уровнем моря в м	Солёность а в ‰	Показатели в годах				Литера- тура	
							Годовой слой в м		испарения П = 1/2В	отпреснения С = П, С = 2П,		
							испаре- ния И	осадков Д				
												запол- нения З = А В
Азовское море	37 600	256	40,7	6,81	0	1,12	0,976	6,29	11,68	31,6	12,4	(3-5)
Аральское море	63 270	1 023	75	16,2	52	1,09	1,200	13,71	14,74	66,6	25,8	(6-7)
Иссык-куль	6 205	1 732	6,3	279	1579	0,58	0,980	274,9	390,7	942,4	456,8	(8-9)
Каспийское море	436 000	79 320	357	181,8	-27	1,286	1,085	222,2	221,7	—	—	(10-11)

Превышение величины показателя испарения над величиной показателя заполнения в Азовском море, Арале и Иссык-куле указывает на значительный сток воды первого в Черном море и вод вторых — в грунт. Значительная разница в величинах показателей заполнения и испарения может также получиться от использования при их вычислении неправильных или неточных данных по каким-либо элементам водного или солевого баланса водоема.

Из табл. 1 видно, что показатели опреснения растут параллельно с ростом двух других показателей и являются величинами одного с ним порядка.

Интересно сопоставить с этой точки зрения два водоема: Азовское море и Иссык-куль. Превосходя Иссык-куль по площади акватории и по объему речного стока примерно в 6 раз, Азовское море в 7 раз меньше этого озера по объему водной массы. Поэтому сроки опреснения Азовского моря в 30 слишком раз меньше, чем для Иссык-куля, опреснение которого при сохранении нынешнего объема не представляется возможным в течение жизни одного-двух поколений, несмотря на малую его соленость.

Рассмотренные в настоящей статье показатели являются важными характеристиками водного и солевого балансов, указывающими на возможности изменения этих балансов в выгодную сторону.

Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. Курнакова
Академии наук СССР

Поступило
20 VII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Великанов, Водный баланс суши, М., 1940. ² Н. А. Тананаев, Весовой анализ, изд. 5, 1938. ³ Н. М. Книпович, Изв. Гос. гидрол. ин-та, № 63, 17 (1934). ⁴ Д. Л. Соколовский, там же, № 63, 29 (1934). ⁵ Большая советская энциклопедия, 1, 726, 1926. ⁶ А. В. Шнитников, Тр. Солян. лаб. АН СССР, в. 12 (1937). ⁷ Большая советская энциклопедия, 3, 234, 1926. ⁸ Озеро Иссык-куль, Тр. Киргизск. комплексн. эксп. (1932—1933 гг.), 3, в. 2, изд. АН СССР. ⁹ Большая советская энциклопедия, 29, 630 (1935). ¹⁰ Проблемы Волго-Каспия, 1 (1936); 2 (1937). ¹¹ Большая советская энциклопедия, 31, 694, 1937.