

М. А. КЛОЧКО

О ВЛИЯНИИ ЗАЛИВА КАРА-БОГАЗ-ГОЛ НА ИЗМЕНЕНИЕ СОЛЕВОГО БАЛАНСА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 10 XI 1951)

Уменьшение содержания солей в Каспии вследствие ежегодного стока некоторого количества его воды в залив Кара-Богаз-Гол расценивалось как положительное явление ⁽¹⁾, так как «стекание каспийских вод в залив служит для Каспия спасительным средством к поддержанию его постоянной солености и жизненности» ⁽²⁾.

Первая попытка расчета опресняющего влияния залива показала, что при его отделении от моря соленость последнего увеличится на 1% только через 2500 лет ⁽³⁾.

Подробный расчет, проведенный С. В. Бруевичем по сумме солей и при постоянном уровне моря, показал, что при учете перехода в донные отложения карбонатов речного стока ежегодный унос солей в залив приводит к уменьшению количества солей в Каспии на $2,3 \cdot 10^8$ т, что составляет 0,019% от солевой массы моря, или 0,00024% его солености, равной у пролива 1,275% ⁽⁴⁾.

Представляет, однако, интерес расчет опресняющего влияния залива на Каспий и по отдельным наиболее важным составляющим солевого состава и при учете снижения уровня моря, связанного с уменьшением его объема.

Решению этого вопроса посвящена настоящая статья.

Мы провели расчет не только по сумме солей, но и по ионам хлора и SO_4 , представляющим хлориды и сульфаты, так как эти последние соли являются количественно преобладающей составной частью солевой массы морей и рек (карбонаты речного стока большей частью переходят в морские донные отложения). Изменения концентрации этих солей в Каспии под влиянием стока его вод в залив и под влиянием притока речных вод неодинаковы вследствие различного относительного содержания этих солей в солевой массе речного стока и моря. Изменение концентрации сульфатов и хлоридов, повидимому, различно скажется на существующих в морской воде биологических условиях.

Содержание солей и кислотных остатков в годовом речном стоке Каспия приведено в табл. 1.

Содержание ионов в солевой массе Каспия мы принимаем следующим (в вес. %): Cl 41,73; SO_4 23,49; CO_3 0,84 и Ca 2,70 (⁽⁴⁾, табл. 10). Таким образом, при солености, равной 12,81 г/кг, содержание ионов в воде Каспия составит (в г/кг): Cl 5,346; SO_4 3,009; CO_3 0,108; Ca 0,346.

Полагая, что 0,108 г CO_3 свяжут 0,072 г Ca, остаток которого, равный 0,274 г, свяжет 0,657 г SO_4 в $CaSO_4$, получим содержание SO_4 в

Таблица 1

Содержание ионов и солей в годовом речном стоке Каспийского бассейна

Река	Годовой речной сток в км ³	Cl в мг/л	SO ₄ в мг/л	Сумма солей в мг/л	CaSO ₄ в % от суммы солей (от в)	SO ₄			Сумма солей без карбонатов и CaSO ₄			Содерж. раствор. кислоти. остатков и суммы солей в 10 ⁶ т			
						связан. с кальцием		не связ. с кальцием в мг/л (б-е)	в % от суммы солей (от в)	в мг/л	в % от суммы солей (от в)	в мг/л	Cl	SO ₄	и. А
						д	е								
Волга	270,8	10,86	70,9	198,6	2,8	1,98	3,93	46,99	40,0	79,4	2942	12730	21520		
Кура	17,2	37,9	66,2	335,2	11,3	7,97	26,73	39,47	41,5	139,2	652,5	679,9	2397		
Урал	13,2	68,0	45,3	301,0	—	—	—	45,30	54,4	163,8	829,7	586,6	2158		
Терек	11,3	24,0	79,8	299,0	9,7	6,84	20,46	59,34	38,0	113,6	271,4	671,2	1285		
Сулак	5,5	8,9	57,3	205,8	6,9	4,87	10,02	47,28	37,1	76,4	48,9	259,6	419		
Прочие реки	37,2	28,93	59,9	267,9	6,1	4,33	11,60	48,30	42,2	113,1	1075	1795	4203		
Итого	355,2										5819,5	16732,2	31982		

На 1 км³ речного стока

При мечание. При вычислении количества солей, приносимых речным стоком в Каспий, мы приняли для Волги данные С. В. Бруевича (4), а для остальных рек — данные работ (4, 5) (см. в табл. 1 столбцы А, б, в, г, з). В столбце з табл. 1 приведены разности между данными Бруевича и Аничковской и 100%. Данные для прочих рек приняты нами как средне-арифметические из соответствующих данных для других рек бассейна.

воде Каспия равным 3,009—0,657 = 2,352 г/кг, а сумму солей равной 12,81—(0,108 + 0,346 + 0,657) = 11,699 г/кг.

Из этих данных и из цифр табл. 1, принимая плотность каспийской воды 1,01 г/см³, мы можем вычислить убыль хлора, SO₄ и суммы солей в Каспии при замене 1 км³ его воды, перешедшей в залив, на 1 км³ речной воды (см. табл. 2).

1 км³ воды, стекающей в залив (при одновременной замене его 1 км³ речной воды), эквивалентен различному количеству речной воды, смотря по тому, идет ли речь об уравнивании в морской воде концентрации хлора, SO₄ или суммы солей. Количества морской воды, которые нужно спустить в залив, чтобы уравновесить приток той или иной соли, приносимой в Каспий речными водами всего годового стока, тоже весьма различны (см. табл. 3). Так например, для уравнивания концентрации сульфатов в море требуется спустить в залив почти в 7 раз больше воды, чем для уравнивания концентрации хлоридов.

Во всяком случае, стока 7—8 км³ каспийской воды в залив вполне достаточно для того, чтобы при неизменном объеме моря уменьшить концентрацию в нем хлоридов и суммы солей и не допустить накопления в нем сульфатов.

Что касается опресняющего влияния залива на море при увеличении концентрации солей в последнем вследствие уменьшения его объема, то, принимая объем Каспия

равным 77000 км³ при глубине в 180 м (4), мы найдем, что при понижении уровня моря на 1 м его первоначальный объем уменьшится на 1/180; на столько же увеличится и концентрация солей в нем. Чтобы уравновесить это увеличение концентрации, нужно удалить из Каспия 1/180 часть первоначальной солевой, а следовательно, и водной массы с заменой на равное количество речной воды, что составит 427,8 км³ воды.

При ежегодном стоке в залив в среднем 17,5 км³ (что примерно имело место за последние десятилетия (3, 6)) для этого потребуется 25 лет. Учет солей, доставляемых за это время реками, повысит срок еще на 3 года.

Каждый кубический километр морской воды, перешедший в залив, при замене его на равный объем речной воды уравнивает увеличение концентрации солей в море, вызванное понижением его уровня на 2,45 мм. Эти величины одинаковы для всех солей, так как их концентрации при уменьшении объема моря изменяются в одинаковой степени.

В 1945 г. уровень Каспия был ниже уровня 1929 г. (совпадавшего со средним уровнем за последние 100 лет) на 193 см (7), и для возвращения к солености 1929 г. заливу нужно было получить 193 : 0,245 = 788 км³,

на что при расходе воды в проливе, равном 17,5 км³, потребовалось бы 45 лет, не считая приноса солей с речным стоком. Разумеется, длительное поступление каспийской воды в залив в таком количестве является весьма проблематичным и не оправдывается какими-нибудь практическими соображениями.

Действительно, если залив ежегодно получал из Каспия по 17,5 км³ воды, то от замены этого количества морской воды на речную убыль со-

Таблица 2

Содержание хлора, SO₄ и суммы солей в воде Каспийского моря и убыль солей

	Cl	SO ₄	Сумма солей
В г/кг	5,346	2,352	11,699
В т/км ³	5,40·10 ⁶	2,38·10 ⁶	11,82·10 ⁶
В речной воде, т/км ³ . .	16,83·10 ⁸	47,11·10 ⁸	90,04·10 ⁸
Убыль солей в Каспии от замены 1 км ³ его воды на 1 км ³ речной воды в т	5,38·10 ⁶	2,33·10 ⁶	11,73·10 ⁶

Таблица 3

Эквивалентные количества речной и каспийской воды по содержанию ионов и солей

Ионы и соли	Колич. речной воды, эквивал. 1 км ³ каспийской воды, в км ³	Колич. каспийской воды, эквивал. годовому речному стоку бассейна, в км ³
Cl	328,4	1,082
SO ₄	49,5	7,175
Сумма солей	130,3	2,726

лей из Каспия составит 2,053·10⁸ т, что составляет 0,022% от всей солевой массы Каспия. Эта величина практически совпадает с соответствующей цифрой (0,019%), приведенной в работе С. В. Бруевича (4), и убыль за столетие составляет всего 2,2% от солевой массы моря. Таким образом, при прекращении стока в залив в течение ста лет произойдет увеличение солености воды Каспия с 1,281 до 1,309%.

По Л. С. Бергу (8), в середине XVI века уровень Каспия был выше уровня 1925 г. на 3 м. Так как в 1932 г. минимальные высоты кос, отде-

ляющих залив от моря, не превышали в некоторых местах 2 м ⁽⁶⁾, то в середине XVI века между заливом и морем мог иметь место двухсторонний обмен водой, и концентрация солей в заливе не отличалась значительно от их концентрации в каспийской воде.

При ежегодном стоке из Каспия по 17,5 км³ воды за 400 лет с 1540 по 1940 г. залив получил 7000 км³ каспийской воды, в которой заключалось $11,82 \cdot 10^6 \cdot 7000 = 8,274 \cdot 10^{10}$ т солей, составляющих 9,09% от всей солевой массы, находящейся в Каспии в настоящее время ($9,101 \cdot 10^{11}$ т). Следовательно за время своей деятельности в качестве опреснителя Каспия залив уменьшил его солевую массу на 9,1%, и без залива соленость Каспия вместо 1,281% составляла бы в настоящее время примерно 1,40%.

Если принять наличие солей в заливе в последнее время равным $4,8 \cdot 10^{10}$ т (⁴, ⁶), то возврат их в Каспий (невозможный полностью при любом понижении моря) увеличил бы соленую массу моря на 5,27% и его соленость с 1,28 до 1,35%.

Что касается дальнейшего увеличения солености моря при отчленении залива, то за счет притока речной воды количество солей увеличится в море ежегодно на $32 \cdot 10^6$ т (табл. 1), т. е. на 0,00351% от всей солевой массы, а соленость будет увеличиваться ежегодно на 0,000045%.

Понижение уровня моря на 1 м увеличит концентрацию солей в нем на 1/180, т. е. на 0,556%, а его соленость на 0,00712%.

Из предыдущего видно, что роль залива в качестве опреснителя Каспия незначительна, но взаимоотношение этих двух водоемов представляет большой интерес, указывая на принципиальную возможность опреснения или стабилизации солености и бессточному водоему путем регулярного спуска некоторого количества его воды в естественно или искусственно отделенную от него часть, в которой потери воды на испарение резко преобладают над ее приходом с речным стоком и атмосферными осадками.

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

Поступило
11 V 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Карабугазский залив, Исследование экспедиции 1897 г., ч. 1, Исследования гидрографические и зоологические, СПб, 1898. ² А. Лебединцев, Записки по гидрографии, в. 23, 256 (1901). ³ М. В. Никитин, Сборн. Карабугаз и его промышленное значение, 3 изд., 1930, стр. 23. ⁴ С. В. Бруевич, Гидрохимия Среднего и Южного Каспия, Тр. по комплексн. изуч. Каспийского моря, в. 4 (1937). ⁵ С. В. Бруевич и Н. И. Аничкова, там же, в. 14 (1941). ⁶ Сборн. работ по гидрохимии Карабугазского залива, Тр. соляной лаборатории, в. 5, 1936. ⁷ Б. Д. Заиков, Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня, Главн. упр. гидрометеорол. службы, Тр. н.-и. учрежд., сер. IV, в. 38 (1946). ⁸ Л. С. Берг, Проблемы физ. геогр., 1, 11 (1934); Очерки физической географии, 1949, стр. 205.