

УДК 551.583 (282.255.51)

## ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ИОННОГО СТОКА РЕКИ ИЛИ

Ж.К. Турениязова

*При многолетнем зарегулировании водохранилищем стока р. Или антропогенная составляющая ионного стока последовательно нарастает от маловодного к многоводному году. Значительные изменения в солевом составе воды отмечаются в основном за счет ионов  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$ .*

В результате строительства и ввода в эксплуатацию Капчагайского водохранилища в низовье р. Или коренным образом изменен гидрологический режим. В связи с этим, представляет интерес определение поступления солевого стока в оз. Балхаш и его изменение, обусловленное влиянием Капчагайского водохранилища.

Многолетние исследования показали, что при зарегулировании водного стока рек состав химических ингредиентов воды претерпевает заметные изменения [1, 5]. В результате трансформации водных масс и их взаимодействия с ложем водохранилища наблюдается перераспределение главных ионов – концентрация сульфатов, хлоридов, натрия и калия увеличивается, гидрокарбонатов и кальция уменьшается. Влияние водохранилищ на нижележащий участок реки прослеживается на сотни километров вниз по течению. Характерные изменения в химическом составе воды были отмечены и в р. Или [2, 4]. Необходимо отметить, что происходящие изменения под влиянием Капчагайского водохранилища коснулись в первую очередь внутригодовой динамики гидрохимических показателей, хотя речной сток, как и прежде, соответствует по классификации О.А. Алекина гидрокарбонатному классу кальциевой группы.

Путем слежения за изменением концентрации химического элемента в речном стоке нельзя дать количественную оценку антропогенной составляющей вследствие очень значительных колебаний природных концентраций, связанных с колебаниями водного стока. Поэтому для количественной оценки поступления в водоемы химических элементов антропогенного генезиса предложена разработка критериев изменения солевого (анионно-катионного) состава речного стока под влиянием антропогенно-

го воздействия [3]. Отработка данной методики производилась на примере крупных рек СНГ, антропогенная составляющая солевого стока которых в настоящий период оценивается в среднем величиной порядка 15...20 %.

В качестве репера использована концентрация гидрокарбонатных ионов, поскольку в речных водах она, прежде всего, определяется подвижным карбонатно-кальциевым равновесием. Несмотря на некоторое поступление в реки гидрокарбонатных ионов за счет антропогенного фактора, их количество в воде практически не возрастает, ограниченное низкой растворимостью карбоната кальция. Выполненные расчеты [6] также подтвердили, что создание Капчагайского водохранилища существенно не повлияло на среднегодовую концентрацию  $\text{HCO}_3^-$  в р. Или.

Для оценки антропогенного воздействия на солевой состав р. Или весь период наблюдений за химическим составом воды подразделяется на периоды естественного и нарушенного гидрохимического режимов и рассматривается по годам различной обеспеченности (25, 50, 75, 95 %).

В период зарегулирования стока р. Или характерным изменением было сокращение объемов стока, что важно в свете известной классической закономерности, согласно которой сток растворенных химических веществ в значительной мере определяется их водностью. По результатам расчетов уменьшение солевого стока отмечается только при  $P = 75\%$ . Если в естественных условиях суммарный ионный сток составил 4,53 млн. т, то после создания и ввода в эксплуатацию Капчагайского водохранилища поступление солей сократилось до 4,22 млн. т, то есть на 7 %. Тогда как при другой водности года явно прослеживается значительное увеличение солевого стока. Например, в многоводный год с  $P = 25\%$  вынос рекой в оз. Балхаш растворенных солей возрос на 0,58 млн. т,  $P = 50\%$  – 0,76 млн. т,  $P = 95\%$  – 0,30 млн. т (табл. 1).

Как показали результаты сравнительного анализа, в ионном составе р. Или отмечается независимо от водности года несомненный рост ионов –  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . Например, при  $P = 25$  и  $50\%$  катионы  $\text{Mg}^{2+}$  увеличились на 10...64 %,  $\text{SO}_4^{2-}$  – 70...79 %,  $\text{Cl}^-$  – 45...77 %,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  – 52...61 %. В среднемаловодном году с  $P = 75\%$  зарегистрировано значительное возрастание анионов  $\text{Cl}^-$  (65 %), также  $\text{SO}_4^{2-}$  на 19 %. Увеличение солей при  $P = 95\%$  наблюдается за счет ионов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  (24...25 %) и  $\text{SO}_4^{2-}$  (19 %). Относительно катионов  $\text{Ca}^{2+}$  отмечается тенденция уменьшения (14...35 %) независимо от водности года.

Таблица 1

Солевой состав р. Или при естественном (ЕГР) и нарушенном (НГР) гидрологическом режимах

Режим	Средний вынос, млн. т						Общий вынос, млн. т	Объем стока, км <sup>3</sup>
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl		
<b>P = 25 %</b>								
ЕГР	1,01	0,11	0,44	2,95	0,77	0,26	5,55	16,8
НГР	0,66	0,29	0,71	2,64	1,38	0,46	6,13	15,9
в % при НГР								
	65	264	161	89	179	177	110	95
Антропогенная составляющая выноса								
	36	65	45	0	50	50		
<b>P = 50 %</b>								
ЕГР	0,67	0,10	0,33	2,14	0,66	0,22	4,12	14,3
НГР	0,56	0,21	0,50	2,16	1,12	0,32	4,88	12,6
в % при НГР								
	84	210	152	101	170	145	118	88
Антропогенная составляющая выноса								
	21	52	34	0	40	31	15	
<b>P = 75 %</b>								
ЕГР	0,66	0,24	0,38	2,17	0,87	0,20	4,53	13,5
НГР	0,46	0,21	0,44	1,89	0,89	0,33	4,22	12,5
в % при НГР								
	70	88	116	87	102	165	93	94
Антропогенная составляющая выноса								
	24	0,5	25	0	15	45	7	
<b>P = 95 %</b>								
ЕГР	0,50	0,16	0,34	1,77	0,69	0,18	3,65	11,0
НГР	0,43	0,20	0,42	1,76	0,82	0,31	3,95	10,3
в % при НГР								
	86	125	124	99	119	172	108	94
Антропогенная составляющая выноса								
	16	20	19	0	16	42	7	

При непосредственном сопоставлении как общегодового солевого стока и годового выноса отдельных ионов, так и их среднегодовых концентраций фактически невозможно количественно оценить антропогенную составляющую ионного стока. В таких случаях критерием антропогенного воздействия на солевой (анионно-катионный) состав речного стока могут служить величины отношений содержания HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> иона к содержанию других компонентов солевого состава.

Из анализа табл. 2 следует, что по мере непропорционального возрастания концентрации ионов  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  и  $Na^+ + K^+$  антропогенного генезиса, понижаются величины отношения гидрокарбонатного к этим компонентам. В многоводном году с  $P = 25\%$  обеспеченностью в результате значительных антропогенных поставок катионов магния величины отношения  $HCO_3^-/Mg^{2+}$  в стоке понизились в 2,7 раза,  $HCO_3^-/Na^+ + K^+$ ,  $SO_4^{2-}$  – в 1,8 раза,  $HCO_3^-/Cl^-$  – в 1,7 раза. Соответственно в значительной степени изменились соотношения главных ионов к  $HCO_3^-$ . При  $P = 50\%$  отмечается значительное изменение величины отношения  $HCO_3^-/Mg^{2+}$  (в 1,9 раза), в меньшей степени –  $HCO_3^-/SO_4^{2-}$  (в 1,5 раза),  $HCO_3^-/Na^+ + K^+$ ,  $Cl^-$  (в 1,3 раза). В среднемаловодный год с  $P = 75\%$  величины отношения  $HCO_3^-/Cl^-$  понизились в 1,9 раза,  $HCO_3^-/SO_4^{2-}$  – в 1,5 раза,  $HCO_3^-/Na^+ + K^+$  – в 1,2 раза. Величины изменения отношения  $HCO_3^-$  к другим ионам при  $P = 95\%$  незначительные и составляют:  $HCO_3^-/Cl^-$  – в 1,6 раза,  $HCO_3^-/SO_4^{2-}$  – в 1,3 раза,  $HCO_3^-/Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-/Na^+ + K^+$  – в 1,2 раза. Минимально изменились и величины отношения  $HCO_3^-/Ca^{2+}$  в сторону увеличения, связанные с уменьшением концентрации  $Ca^{2+}$  независимо от водности года.

Таблица 2

Величины отношения содержания гидрокарбонатных ионов к другим компонентам ионного состава р. Или

Режим	Величина отношения $HCO_3^-$ к ионам				
	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+ + K^+$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$
<b>P = 25 %</b>					
ЕГР	2,8	25,1	6,2	3,4	10,4
НГР	4,4	9,2	3,7	2,0	5,7
<b>P = 50 %</b>					
ЕГР	3,3	16,7	5,4	2,9	8,3
НГР	3,9	9,9	4,1	1,9	6,4
<b>P = 75 %</b>					
ЕГР	3,3	7,5	5,0	3,2	10,1
НГР	4,1	8,9	4,3	2,1	5,6
<b>P = 95 %</b>					
ЕГР	3,6	10,5	5,1	2,9	9,4
НГР	4,2	8,9	4,2	2,2	5,7

Влияние Капчагайского водохранилища на сток ионов  $Ca^{2+}$  обусловило возникновение жесткой положительной корреляционной связи с водным стоком, ослабило природную связь с их концентрациями до незначимой. Также в большинстве случаев отмечается тесная связь стока  $Na^+ + K^+$  с кон-

центрацией, по отношению стока главных ионов с объемом стока коэффициент корреляции высокий и колеблется в пределах 0,65...0,93 (табл. 3).

Таблица 3

Корреляционная связь стоков ионного состава р. Или с их концентрацией (1) и водным стоком (2)

P, %	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
25	0,04	0,89	0,94	0,70	0,43	0,88	0,76	0,73	0,84	0,44	0,93	0,45
50	0,56	0,88	0,82	0,35	0,87	-0,02	0,72	0,88	0,19	0,92	0,88	-0,09
75	0,41	0,89	0,65	0,76	-0,05	0,82	0,44	0,88	0,13	0,66	0,65	0,66
95	0,34	0,83	0,18	0,79	0,36	0,92	0,69	0,92	0,27	0,75	0,75	0,60

Отмеченная в природных условиях стабильность величин отношения HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ионов к компонентам солевого (анионно-катионного) состава в речном стоке, позволяет использовать их в качестве «фоновых эмпирических» коэффициентов для оценки антропогенной составляющей ионного стока. Величина антропогенной составляющей в ионном стоке р. Или при различных водностах года определен по формуле:

$$G^i = G_{\Sigma} - \frac{G_{HCO_3^-}}{K_{\phi}}$$

где,  $G^i$  – антропогенная составляющая стока рассматриваемого компонента солевого состава за расчетный период;  $G_{\Sigma}$  – суммарный вынос компонента солевого стока за расчетный период (включающий природную и антропогенную составляющие);  $G_{HCO_3^-}$  – вынос гидрокарбонатного иона за расчетный период;  $K_{\phi}$  – «фоновый» эмпирический коэффициент, равный отношению содержания гидрокарбонатных ионов к содержанию соответствующего компонента ионного состава в природных условиях, относительно которого отсчитывают нарастание антропогенной составляющей солевого стока.

Результаты расчетов представлены в табл. 1. Антропогенная составляющая ионного стока последовательно нарастает от маловодного к многоводному году, где их показатели варьируют в пределах 7...19 %. Например, при P = 25 и 50 % суммарный солевой сток возрастает от 4,88 до 6,13 млн. т в год. Антропогенные составляющие ионного стока достигают в зависимости от водности года 15...19 %, при этом значительное изменение солевого состава р. Или наблюдается за счет ионов Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и Cl<sup>-</sup>. В среднемаловодном и маловодном годах с P = 75 и 95 % антропогенная со-

ставляющая выноса ионов находится на уровне 7 %, преобладающие изменения солевого состава воды приходятся на долю ионов  $Cl^-$ .

Таким образом, значительные изменения солевого стока Или под влиянием Капчагайского водохранилища произошли в многоводном году с  $P = 25$  %, где антропогенная составляющая достигает 19 %. Основные преобразования в ионном составе воды отмечаются независимо от водности года за счет ионов  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Кочарян А.Г. и др. Влияние водохранилищ на трансформацию химического стока рек. // Водные ресурсы, 1994, том 21, № 2. – С. 144-153.
2. Бурлибаев М.Ж., Турениязова Ж.К. О некоторых результатах изменения гидрологического и гидрохимического режимов реки Или // Экологические проблемы водных ресурсов и орошаемых земель Казахстана: Сб. Статей. – Алматы, 2000. – С. 45-54.
3. Максимова М.П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек. // Водные ресурсы, 1985. – № 3. – С. 71-75.
4. Морозова Г.Н. Гидрохимический режим рек Или-Балхашского бассейна // Труды ГГИ. – 1987. – Вып. 326. – С. 96-115.
5. Сороковикова Л.М. Трансформация главных ионов и минерализация воды р. Енисей в условиях зарегулированного стока // Водные ресурсы, 1993, том 20, № 3. – С. 320-325.

РГП «Казгидромет»

#### ІЛЕ ӨЗЕНІНДЕГІ ИОНДЫҚ АҒЫНДЫЛАРДЫҢ АНТРОПОГЕНДІК ӨЗГЕРУІН БАҒАЛАУ

Ж.Қ. Турениязова

*Іле өзенінің бөген арқылы көпжылдық реттелуі барысында иондық ағындының антропогендік өзгеру көрсеткіштері мол сулылықтан аз сулылық жылдарға қарай өсе түскен. Судың тұздық құрамындағы өзгерістер негізінен  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$  иондарының есебінен айқын байқалады.*