

УДК 26.221.1:26.222.61  
ББК 556.11:550.4

*А. С. Мукашева, Т. Я. Лопарева*

## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОДНОРОДНОСТЬ ИОННО-СОЛЕВОГО СОСТАВА ВОДЫ БАЛХАШ-ИЛЕЙСКОГО И АРАЛО-СЫРДАРЬИНСКОГО БАССЕЙНОВ

*A. S. Mukasheva, T. Ya. Lopareva*

## GENETIC UNIFORMITY OF ION-SALT COMPOSITION OF WATER OF BALKHASH-ILE AND ARAL-SYR-DARYA BASINS

Малый Арал и оз. Балхаш относятся к крупнейшим водоемам Казахстана. Их водными артериями являются реки Сырдарья и Иле. К наиболее важным гидрохимическим параметрам естественных водоемов относится ионно-солевой режим. Особенностью состава воды оз. Балхаш и опресненной зоны Малого Арала, при минерализации от 2600–6000 мг/дм<sup>3</sup>, является преобладание среди анионов сульфатных ионов, в катионном составе происходит увеличение концентрации щелочных металлов. Ионный состав воды характеризуется индексом  $S_{II}^{Na}$ . Дальнейший рост минерализации воды в пределах 5000–11700 мг/дм<sup>3</sup> приводит к формированию воды смешанного состава, затем к доминированию сульфатных и хлоридных ионов. Состав воды приобретает индекс  $S_{II}^{Na} \rightarrow SCI_{II}^{Na} \rightarrow CI_{II}^{Na}$ .

**Ключевые слова:** токсиканты, загрязнение, бентофаги, биокумуляция, биоресурсы, биоаккумуляция.

The Small Aral and the Lake Balkhash are ones of the largest inland water bodies of Kazakhstan. Their water ways are the Syrdariya and Ili rivers. The ion-salt regime is considered as the most important parameter in water chemistry of natural water objects. The peculiarity of water composition of the Lake Balkhash and desalinated area of the Small Aral with mineralization 2100–6000 mg/dm<sup>3</sup> is the dominance of sulfate ions among anions and in the cation composition an increase in the concentration of alkali metals is fixed. The ionic composition of the water is characterized by an index  $S_{II}^{Na}$ . Further growth of water mineralization within 5000–11700 mg/dm<sup>3</sup> leads to the formation of mixed composition of water, then to the dominance of sulfate and chloride ions. The composition of water becomes an index  $S_{II}^{Na} \rightarrow SCI_{II}^{Na} \rightarrow CI_{II}^{Na}$ .

**Key words:** toxicants, pollution, benthophages, biocumulation, bioresources, bioaccumulation.

Аральское море и оз. Балхаш относятся к крупнейшим материковым водоемам Казахстана. Главными водными артериями Малого Арала и оз. Балхаш являются реки Сырдарья и Иле, берущие начало за пределами Казахстана, в северо-западной части Центрального Тянь-Шаня. Сырдарья и Иле – трансграничные реки, поэтому формирование гидрохимического режима их водной среды происходит под воздействием природных и антропогенных факторов, обуславливающих их загрязнение как с территории Казахстана, так и с территории сопредельных государств.

Наиболее важным параметром в гидрохимии водоемов является солевой режим. В связи с этим основная цель исследований заключалась в анализе и регистрации антропогенной и генетической природы ионно-солевого состава воды в двух крупнейших водоемах республики. Изучение и анализ последствий антропогенного вмешательства, в результате которого нарушаются водный режим и солеобмен водоемов, являются актуальными на современном этапе.

Формирование гидрохимического режима и качественных показателей воды рек Иле и Сырдарья, по мнению ряда исследователей [1, 2], происходит в основном в двух зонах. Зоной природного формирования стока считается верхнее течение рек, расположенное в незагрязненной, неорошаемой части бассейна. По результатам многолетних исследований [3, 4] и данным гидрометеорологических наблюдений [5] в верховьях обеих рек минерализация воды составляет 200–500 мг/дм<sup>3</sup>, что позволяет отнести ее к категории слабоминерализованных вод. По соотношению ионов вода рек в этой зоне принадлежит к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе.

В зонах рассеивания и транзита стока, расположенных в среднем и нижнем течении рек, формирование солевого состава и минерализации определяется в основном антропогенными факторами – влиянием возвратных вод с полей орошения, различных промышленных и быто-

вых стоков, коллекторно-дренажных вод. Результатом антропогенного воздействия является повышение уровня минерализации воды на нижних участках рек. В приустьевой зоне, по данным [2], минерализация воды р. Сырдарья колеблется в диапазоне 1200–2800 мг/дм<sup>3</sup>, по результатам исследований 2012 г. – в диапазоне 1095–2122 мг/дм<sup>3</sup>. Темп роста минерализации воды вниз по течению при впадении в Малый Арал увеличивается в 3,5–5,6 раза. В р. Сырдарье от истока до устья показатель анионного состава перемещается от гидрокарбонатного класса к сульфатному. В катионном составе вниз по течению увеличивается содержание щелочных металлов – примерно в 10 раз, магния – в 7,5 раза, а кальция – лишь в 2,0–2,5 раза.

В процессе транзита воды вниз по течению рост минерализации воды в р. Иле значительно ниже, чем в р. Сырдарье, т. к. она менее подвержена антропогенному загрязнению, и увеличивается по пути следования от 200–330 до 400–540 мг/дм<sup>3</sup>, т. е. в 1,6–2,0 раза. В приустьевых участках р. Иле и ее протоков Нарына, Жидели, Йыр минерализация, в зависимости от водности и сезона, составляет 600–1000 мг/дм<sup>3</sup>. По ионному составу вода р. Иле от истока до устья относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу, что характерно для слабоминерализованных речных вод. В приустьевых участках рек вода классифицируется уже как сульфатно-натриевая.

Сезонные и межгодовые вариации основных компонентов минерализации обусловлены не только нестабильным проявлением антропогенных факторов, но и многолетней ритмикой уровня режима. Наиболее низкие концентрации солей соответствуют многоводным гидрологическим циклам.

В таблице представлены значения минерализации и процент-эквивалентное содержание ионов в воде изучаемых объектов.

Соленость воды оз. Балхаш отличается большой неоднородностью по акватории. Минерализация воды Западного Балхаша меняется в интервале 680–2200 мг/дм<sup>3</sup>, в центральной части озера она составляет 2400–3100 мг/дм<sup>3</sup>, в последнем районе Восточного Балхаша соленость повышается до 4900–5600 мг/дм<sup>3</sup>. По сумме растворенных солей ниже 1 000 мг/дм<sup>3</sup> вода в районе влияния р. Иле является пресной, в остальных районах Западного и Восточного Балхаша, с минерализацией больше 1 000 мг/дм<sup>3</sup>, вода классифицируется как солончатая.

#### Минерализация и процент-эквивалентное содержание ионов воды исследуемых водоемов

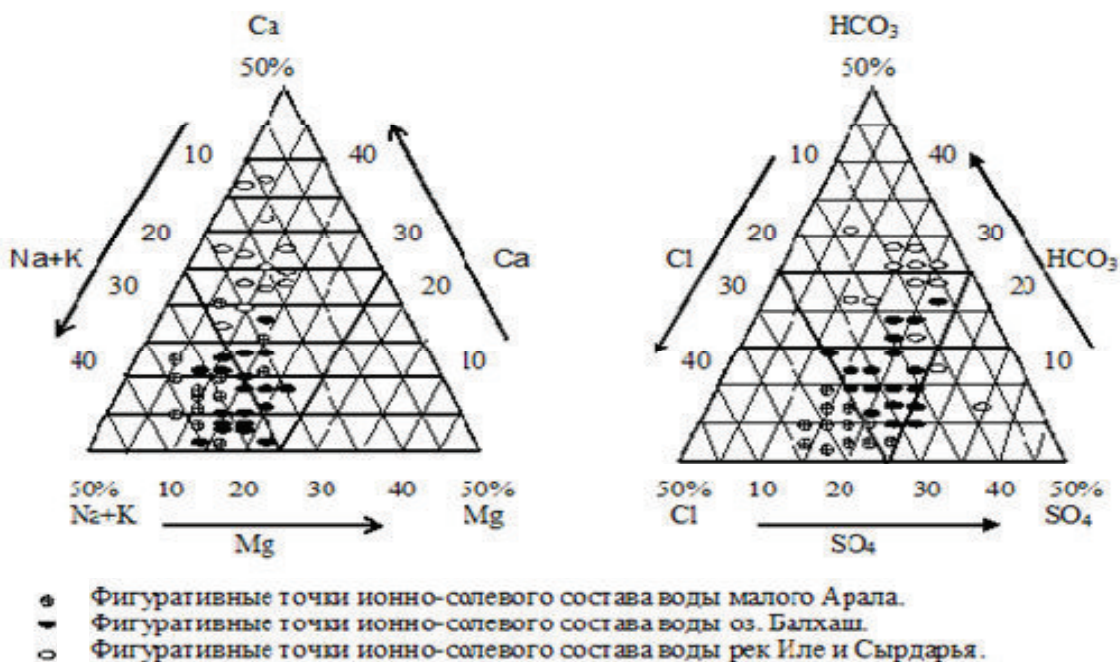
Водоем	$\Sigma_{\text{ионов}}$ мг/дм <sup>3</sup>	Процент-эквивалентное содержание главных ионов						Индекс воды
		HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na + K	
Река Иле	414	24,9	17,3	9,3	23,8	10,5	14,2	C <sub>II</sub> <sup>Ca</sup>
Устье р. Иле	853	14,8	20,8	15,0	10,2	14,3	24,8	S <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
Река Сырдарья	1 095	7,4	34,9	7,72	15,9	16,4	17,6	S <sub>II</sub> <sup>NaMg</sup>
Устье р. Сырдарья	2 122	3,31	32,1	14,5	9,52	16,8	24,0	S <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
Малый Арал	6 307	1,3	24,2	24,5	8,22	15,3	26,4	SC <sub>III</sub> <sup>Na</sup>
Точка 1	6 784	1,3	24,6	24,1	8,5	14,4	27,1	SC <sub>III</sub> <sup>Na</sup>
Точка 2	9 068	1,04	24,5	24,5	7,2	15,5	27,4	SC <sub>III</sub> <sup>Na</sup>
Точка 3	9 781	1,0	23,7	25,3	7,2	14,8	28,0	CIS <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
Точка 4	10 396	1,1	23,8	25,1	7,5	13,0	29,5	CIS <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
Точка 5								
Озеро Балхаш	892	14,5	20,8	15,05	8,91	15,20	25,5	S <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
1 район	864	14,9	20,7	14,9	8,06	16,4	25,06	S <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
2 район	1 391	11,14	22,67	16,49	4,63	16,80	28,27	S <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
3 район	1 746	10,45	23,83	16,86	4,41	16,30	28,11	S <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
4 район	2 735	8,81	23,39	18,22	2,33	17,19	30,0	S <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
5 район	3 169	8,84	23,21	20,02	1,62	16,71	29,6	SC <sub>III</sub> <sup>Na</sup>
6 район	3 949	8,69	20,76	21,03	1,05	16,34	32,1	CIS <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
7 район	4 983	7,93	19,07	20,87	1,59	15,61	34,93	CIS <sub>II</sub> <sup>Na</sup>
8 район								

Средняя соленость воды распресненной части Малого Арала в исследуемый весенний период составляла 5700 мг/дм<sup>3</sup>, осенью повысилась до 7400 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения минерализации (9000–11700 мг/дм<sup>3</sup>) характерны для центральной части и осолоненной воды залива Бутакова. Минимальные показатели (4000–6300 мг/дм<sup>3</sup>) наблюдались в приустьевой и в восточной части моря. По сумме растворенных солей вода относится к солончатой.

Анализ полученных данных подтверждает факт метаморфизации ионно-солевого состава воды в экосистемах изучаемых водоемов. Расчеты коэффициентов сравнения в процент-

эквивалентом выражении (табл.) позволяют количественно оценить изменение соотношений ионов и судить о направлении процессов, приводящих к метаморфизации. Характер этих изменений и направленность процессов метаморфизации в водных системах наглядно отражают треугольники Фере (рис.).

По ионному составу вода рек Иле и Сырдарья в верхнем течении с минерализацией 200–400 мг/дм<sup>3</sup> принадлежит к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу. Гидрокарбонатные ионы составляют 24–32 процент-эквивалентов от суммы солей, ионы кальция – 20–25 процент-эквивалентов. Фигуративные точки данного состава воды отражены на треугольниках Фере. Точки анионного состава располагаются в верхнем гидрокарбонатном треугольнике, точки катионного состава – в верхнем кальциевом треугольнике.



Метаморфизация ионно-солевого состава воды Балхаш-Илейского и Арало-Сырдарьинского бассейнов

В среднем и нижнем течении рек при росте минерализации с 400 до 1000 мг/дм<sup>3</sup> содержание сульфатов возрастает с 18 до 24 процент-эквивалентов, щелочных металлов – с 10 до 17 процент-эквивалентов. Концентрация гидрокарбонатов снижается от 7 до 15 процент-эквивалентов. Показатели катионного состава перемещаются в сторону натриевого треугольника, а анионного состава – от гидрокарбонатного треугольника к сульфатному. В приустьевых участках при росте минерализации до 2100 мг/дм<sup>3</sup> метаморфизация катионного состава воды происходит в направлении дальнейшего увеличения содержания щелочных металлов с 17 до 24 процент-эквивалентов, сульфатных ионов – с 23 до 32 процент-эквивалентов. Фигуративные точки данного состава воды располагаются в сульфатном треугольнике, катионного состава – в центральном треугольнике, занимающая верхнюю левую часть.

Особенностью состава воды оз. Балхаш и опресненной зоны Малого Арала при минерализации от 2100 до 6000 мг/дм<sup>3</sup> является преобладание среди анионов сульфатных ионов – от 21 до 26 процент-эквивалентов, о чем свидетельствуют фигуративные точки, компактно расположенные в сульфатном треугольнике. В катионном составе происходит увеличение концентрации щелочных металлов с 27 до 36 процент-эквивалентов, фигуративные точки располагаются в натриевом треугольнике.

При диапазоне минерализации от 5000 до 11700 мг/дм<sup>3</sup> метаморфизация ионно-солевого состава характеризуется увеличением относительного содержания хлора и натрия. Процент-эквивалентное содержание хлора приближается к процент-эквивалентному содержанию суль-

фатов и характеризуется значениями 20–26, при процент-эквивалентном содержании сульфатов 21–24. Отметим, что одновременно происходит снижение концентрации кальция и гидрокарбонатов до 1,0 и 24,0 процент-эквивалентов соответственно. Фигуративные точки анионного состава воды Малого Арала перемещаются в правый нижний угол хлоридного треугольника, а фигуративные точки оз. Балхаш расположились на границе смешанного и хлоридного треугольников. Фигуративные точки катионного состава воды обоих водоемов располагаются в натриевом треугольнике.

Таким образом, многообразие природных и антропогенных факторов обуславливает глубокие изменения в ионном составе речных вод, что приводит к определенным процессам метаморфизации. Причиной роста и изменения минерализации вниз по течению рек является влияние в бассейнах орошаемого земледелия, при этом р. Сырдарья в большей степени подвержена антропогенному загрязнению. Возвратные воды с полей орошения способствуют трансформации ионного состава воды с гидрокарбонатно-кальциевого в сульфатно-натриевый класс. Индекс воды переходит от  $S_{II}^{Ca}$  через  $S_{II}^{CaNa}$  к  $S_{II}^{Na}$ . Дальнейший рост минерализации воды в оз. Балхаш и Малом Арале направленно приводит к формированию воды смешанного анионного состава, затем к доминированию сульфатных и хлоридных ионов. В катионном составе происходит рост концентрации щелочных металлов, ионный состав воды приобретает индексы  $S_{II}^{Na} \rightarrow SCl_{II}^{Na} \rightarrow Cl_{II}^{Na}$ .

Генетическая однородность состава вод оз. Балхаш и Малого Арала заключается в том, что вода обоих водоемов характеризуется резким преобладанием щелочных металлов, в анионном составе доминируют сульфатные и хлоридные ионы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амиргалиев Н. А. Арало-Сырдарьинский бассейн: гидрохимия, проблемы водной токсикологии / Н. А. Амиргалиев. Алматы, 2007. 224 с.
2. Амиргалиев Н. А. Режим гидрохимических показателей реки Сырдарья в условиях антропогенных воздействий / Н. А. Амиргалиев, Л. А. Гоголь, Е. Жексенбай, С. Е. Саянов // Экология и гидрофауна водоемов трансграничных бассейнов Казахстана. Алматы, 2008. С. 82–91.
3. Шаухарбаева Д. С. Гидрохимические параметры реки Иле в среднем и нижнем течении / Д. С. Шаухарбаева, Т. Я. Лопарева // Экология и гидрофауна водоемов трансграничных бассейнов Казахстана. Алматы, 2008. С. 185–191.
4. Ревина С. К. Метаморфизация солевого состава аральской воды при ее концентрировании в природных условиях / С. К. Ревина // Химические ресурсы морей и океанов. М.: Наука, 1970. С. 12–17.
5. Кипшакбаев Н. К. Региональные проблемы водного хозяйства / Н. К. Кипшакбаев. Алматы: ТОО РПИК «Дәуір», 2004. 466 с.

#### REFERENCES

1. Amirgaliev N. A. *Aralo-Syrdar'inskiy bassein: gidrokhimiia, problemy vodnoi toksikologii* [Aral-Syrdaryanskiy basin: water chemistry, problems of water toxicology]. Almaty, 2007. 224 p.
2. Amirgaliev N. A., Gogol' L. A., Zheksenbai E., Saianov S. E. Rezhim gidrokhimicheskikh pokazatelei reki Syrdar'i v usloviakh antropogennykh vozdeistvii [Mode of hydrochemical parameters of the Syrdarya river in conditions of human impacts]. *Ekologiya i gidrofauna vodoemov transgranichnykh basseinov Kazakhstana*. Almaty, 2008, pp. 82–91.
3. Shaukharbaeva D. S., Lopareva T. Ia. Gidrokhimicheskie parametry reki Ile v srednem i nizhnem techenii [Hydrochemical parameters of the Ile river in middle and low stream]. *Ekologiya i gidrofauna vodoemov transgranichnykh basseinov Kazakhstana*. Almaty, 2008, pp. 185–191.
4. Revina S. K. Metamorfizatsiia solevogo sostava aral'skoi vody pri ee kontsentrirovanii v prirodnykh usloviakh [Metamorphization of saline composition of Aral water at its concentration in natural conditions]. *Khimicheskie resursy morei i okeanov*. Moscow, Nauka Publ., 1970, pp. 12–17.
5. Kipshakbaev N. K. *Regional'nye problemy vodnogo khoziaistva* [Regional problems of water economy]. Almaty, ТОО РПИК «Дәуір», 2004. 466 p.

Статья поступила в редакцию 2.03.2013

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Лопарева Тамара Яковлевна** – Балхашский филиал Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства; канд. геогр. наук; старший научный сотрудник комплексной рыбохозяйственной лаборатории сектора гидрологии и гидрохимии; fishbalchash@mail.ru.

**Lopareva Tamara Yakovlevna** – Balkhash branch of Kazakh Research Institute of Fisher; Candidate of Geographic; Senior Scientific Researcher of the Integrated Fisheries Laboratory of Sector of Hydrology and Hydrochemistry; fishbalchash@mail.ru.

**Мукашева Асель Сагатовна** – Балхашский филиал Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства; младший научный сотрудник; fishbalchash@mail.ru.

**Mukhasheva Aseel Sagatovna** – Balkhash branch of Kazakh Research Institute of Fishery; Junior Researcher; fishbalchash@mail.ru.