

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 574.587(262.81):576.3/7

А. Н. Анурьева, Т. Я. Лопарёва

БИОКУМУЛЯЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ БЕНТОСНЫМИ ОРГАНИЗМАМИ И ИХ МИГРАЦИЯ В БИОТЕ ОЗЕРА БАЛХАШ

Исследуются особенности распределения микроэлементов в бентосных организмах озера Балхаш. Установлено, что загрязнение экосистемы озера токсикантами вызывает значительное обеднение видового разнообразия бентоса и уменьшает его количество. Показатели биомассы зообентоса в Западном Балхаше находились в пределах 17,46–35,95 г/м², в Восточном Балхаше – в пределах 1,40–3,21 г/м². Валовая продукция бентоса в западной части водоема составила 87,52–162,95 тыс. т, в восточной половине – 20,61–138,07 тыс. т. Особое внимание уделено изучению механизма и характера минерального обмена между кормовыми организмами и окружающей средой, в том числе биологических циклов миграции микроэлементов в системе «грунт – бентос». Диапазон толерантности тяжелых металлов в донных отложениях, в пределах которых возможно существование бентонтов для озера Балхаш, составляет 0,05–1,50 г/кг. Содержание металлов в грунтах в количестве около 2,12 г/кг ведет почти к полному исчезновению донных животных. Показатели биомассы незагрязненной акватории Западного и Восточного Балхаша составляет 9,49–18,88 г/м², что на порядок выше, чем на акватории, находящейся в зоне техногенного воздействия. Валовая продукция содержит в своем составе 4887,9 т суммарного количества микроэлементов, из них 1208,5 т утилизируется рыбами с бентосом Западного Балхаша и 756,7 т – Восточного, суммарное потребление составляет 1965,2 т. Оставшаяся часть микроэлементов, 2992,7 т, в виде органических соединений подвергается разложению при отмирании кормовых организмов. Изученные химические элементы по их содержанию в зообентосе образуют следующий ряд, располагаясь по убыванию: Zn > Cu > Pb > Ni > Cd = As > Hg.

Ключевые слова: озеро Балхаш, биота, бентосные организмы, биомасса, валовая продукция, микроэлементы, биоккумуляция, накопление, миграция.

Введение

Озеро Балхаш, как и большинство водоемов Казахстана, подвержено антропогенному воздействию в результате поступления в него речных вод и атмосферных осадков, загрязненных тяжелыми металлами, которые вступают во взаимодействие с грунтами, оказывая существенное влияние на интенсивность развития донной фауны.

Кроме этого, экосистема оз. Балхаш в течение нескольких десятилетий (с 1937 г. по настоящее время) подвергается загрязнению воздушными выбросами металлургического производства, основная доля которых приходится на Балхашский промышленный комплекс.

Главным критерием экологической связи организма со средой обитания является тот факт, что нормальные жизненные процессы наблюдаются только в определенных пределах концентраций и соотношения химических элементов в биоте, ограниченных нижней и верхней пороговыми величинами.

Кормовые организмы, будучи составляющими одной трофической цепи водоема, играют значительную роль в функционировании экосистемы и являются биоиндикаторами загрязнения среды обитания. В связи с этим (изучение) процесса накопления токсикантов бентонтами и путей их дальнейшей миграции в биоте озера имеют определенное научное и практическое значение.

По уровню накопления поллютантов в тканях можно судить об их толерантности к колебаниям экологических факторов. На развитие бентосных организмов накладывається также ритмика природных процессов, таких как гранулометрический состав грунтов и количество органики в иловых отложениях.

В [1] отмечено существование пяти механизмов ассимиляции тяжелых металлов живыми существами: 1) частичное выедание взвешенных веществ, содержащих металлы; 2) выедание пищи; 3) ассимиляция при секреции хелатирующих или комплексообразующих агентов; 4) участие в физиологических процессах; 5) ионный обмен и сорбция на тканях и мембранных поверхностях.

Наличие в донных отложениях тяжелых металлов влияет на развитие кормовых организмов. Присутствие биофильных металлов (медь, цинк) до определенных (пороговых) концентраций благоприятно сказывается на развитии гидробионтов. Однако их превышение ведет к угнетению жизненных процессов. Наличие других металлов (ксенобиотиков), таких как кадмий, свинец, уже в небольших концентрациях негативно отражается на жизнедеятельности бентоса. Кормовые организмы, характеризующиеся повышенным уровнем накопления металлов, имеют низкие показатели биомассы.

В предлагаемой статье представлена характеристика токсикологического состояния кормовых организмов оз. Балхаш. В результате обобщения данных за многолетний период определены некоторые закономерности накопления микроэлементов кормовыми организмами и биологические циклы их миграции в биоте водоема.

Цель исследований заключалась в анализе динамики биокумуляции бентосными организмами микроэлементов и путей их трансформации в экосистеме озера.

Материал и методики исследований

Материалом исследований послужили результаты многолетнего изучения качественного и количественного состава бентосных организмов, а также накопления в них микроэлементов.

Для расчетов использовались средние показатели по валовой продукции и продукции, используемой рыбами, а также суммарное содержание микроэлементов в бентонтах.

Отбор и обработку кормовых организмов, а также расчет значений биомассы зообентоса проводили в соответствии с общепринятой методикой [2]. Расчет валовой продукции бентонтов и продукции, используемой рыбами, осуществляли по методике И. И. Лапицкого [3]. По шкале трофности С. П. Китаева определяли трофический статус водоема [4].

Пробы на микроэлементы в воде, донных отложениях и кормовых организмах обрабатывали атомно-абсорбционным методом [5].

Результаты исследований нашли отражение в ряде публикаций [6–10].

Результаты исследований и их обсуждение

Зообентос оз. Балхаш в 2012–2014 гг. (исследуемый период) был представлен 93 видами и формами беспозвоночных 11 систематических групп и состоял из организмов аборигенной фауны – олигохет, брюхоногих моллюсков, личинок насекомых и беспозвоночных каспийского комплекса – полихет, двустворчатых моллюсков и высших ракообразных (мизиды, корофииды, гаммарусы и креветки).

Наиболее высокие показатели зообентоса и его разнообразие наблюдаются в западной, опресненной, части озера, где уровень минерализации воды колеблется от 0,61 до 2,10 г/дм³. В этой половине водоема биомассу формируют акклиматизированные беспозвоночные: двустворчатый моллюск *Monodacna colorata*, полихеты-амфаретиды *Hypania invalida* и *Hypaniola kowalewskii*, высшие ракообразные – мизиды *Paramysis intermedia*, *P. lacustris*, *P. baeri* и корофииды *Corophium curvispinum* с показателями биомассы 16,99–35,33 г/м². В целом показатели биомассы зообентоса в Западном Балхаше варьировали в интервале 17,46–35,95 г/м².

В Восточном Балхаше, где минерализации воды повышается от 2,64 до 5,20 г/дм³, обитают черви, высшие ракообразные и личинки насекомых. Ведущая роль в бентосе принадлежит аборигенным видам личинок хирономид, которые создают 50,7–67,6 % общей биомассы. Преобладающее значение при этом имеют эвригалинные крупные формы *Chironomus f. l. salinarius* и *Ch. f. l. plumosus*. Показатели биомассы бентоса в Восточном Балхаше находятся в пределах 1,40–3,21 г/м².

Известно, что колебания показателей биомассы зообентоса отражаются на общей трофности (кормности) водоема. Так, с учетом показателей общей биомассы бентоса, класс кормности Западного Балхаша в течение 2012–2014 гг. менялся от высокого до повышенного, класс кормности Восточного Балхаша – от низкого до умеренного, класс кормности озера в целом – повышенный [4].

Анализ результатов многолетнего мониторинга показал, что загрязнение экосистемы озера токсикантами вызывает значительное обеднение видового разнообразия бентосных организмов и уменьшает их количество. Диапазон толерантности тяжелых металлов в донных отложениях, в пределах которых возможно существование бентонтов, для оз. Балхаш составляет 0,05–1,50 г/кг. Содержание металлов в грунтах в количестве около 2,12 г/кг ведет почти к полному исчезновению донных животных. В загрязненных грунтах встречаются только устойчивые к токсикантам олигохеты, значение биомассы которых составляет 0,02 г/м². При снижении содержания микроэлементов в субстрате до 1,35 г/кг бентофауна обогащается личинками хирономид и высшими ракообразными, значения их биомассы повышаются до 0,14–0,18 г/м². Показатели биомассы незагрязненной акватории Западного и Восточного Балхаша составляет 9,49–18,88 г/м², что на порядок выше, чем на акватории, находящейся в зоне техногенного воздействия.

Бентонты способны аккумулировать в своем организме широкий спектр микроэлементов, содержание которых значительно превышает их содержание в водной среде. Значения содержания токсикантов в бентосных беспозвоночных Западного и Восточного Балхаша близки. Помимо грунтовых форм бентоса (олигохеты, моллюски, личинки хирономид) показательными индикаторами степени загрязнения водной среды и донных отложений являются нектобентические беспозвоночные – мизиды, служащие высококалорийным кормом большинства ценных промысловых рыб.

Мизиды в большей степени аккумулируют *медь*, *цинк* и *ртуть* – в количестве 9,2–9,3, 13,6–14,6 и 0,005–0,007 мг/кг соответственно. Доминирующими накопителями *свинца* и *никеля* являются грунтовые виды бентоса – 4,7–6,2 и 1,2–1,3 мг/кг соответственно. В равнозначных концентрациях (0,20–0,47 мг/кг) присутствуют *мышьяк* и *кадмий*. По содержанию в зообентосе микроэлементы образуют следующий ряд, располагаясь по убыванию: Zn > Cu > Pb > Ni > Cd = As > Hg (табл. 1).

Таблица 1

**Концентрация микроэлементов в бентосных организмах,
(среднегодовые показатели)**

Компонент	Концентрация металлов в бентосе, мг/кг сырой массы					
	Западный Балхаш			Восточный Балхаш		
	Мизиды	Бентос	Среднее содержание	Мизиды	Бентос	Среднее содержание
Медь	9,22	8,04	8,62	9,30	9,02	9,16
Цинк	13,60	8,75	11,18	14,60	10,20	12,40
Свинец	2,20	4,70	3,45	2,70	6,20	4,45
Кадмий	0,27	0,30	0,28	0,20	0,37	0,28
Никель	1,16	1,32	1,24	1,0	1,21	1,10
Мышьяк	0,26	0,20	0,23	0,26	0,47	0,37
Ртуть	0,005	0,003	0,004	0,007	0,006	0,006
Суммарное содержание	26,71	23,31	25,01	28,07	27,48	27,77

Для определения степени накопления микроэлементов бентосными организмами и путей дальнейшей миграции поллютантов в экосистеме озера, на основе показателей биомассы зообентоса были выполнены расчеты валовой продукции бентонтов. За период исследований показатели валовой продукции зообентоса в Западном Балхаше колебались в пределах 87,52–162,95 тыс. т, в Восточном Балхаше – в интервале 20,61–138,07 тыс. т при средних значениях в западной части 126,85 тыс. т, в восточной половине – 61,76 тыс. т (табл. 2).

Показатели валовой продукции бентосных организмов за ряд лет

Показатель	Год, район	2012		2013		2014		Среднее значение		Суммарная продукция
		Западный Балхаш	Восточный Балхаш	Западный Балхаш	Восточный Балхаш	Западный Балхаш	Восточный Балхаш	Западный Балхаш	Восточный Балхаш	
Валовая продукция, тыс. т		130,09	26,60	87,52	20,61	162,95	138,07	126,85	61,76	188,61
Продукция, используемая рыбами, тыс. т		50,41	12,74	33,25	8,66	61,31	60,35	48,32	27,25	75,57
Остаточная продукция, тыс. т		79,68	13,87	54,27	11,95	101,65	77,72	78,53	34,51	113,04

Результаты многолетних исследований показали, что 38,1 % валовой продукции бентоса Западного Балхаша и 44,1 % Восточного Балхаша потребляется рыбами, что составляет 48,32 и 27,25 тыс. т соответственно. Оставшаяся часть продукции – 78,53 тыс. т (западная часть) и 34,51 тыс. т (восточная часть) при отмирании подвергается разложению на растворимые органические вещества, поступающие в воду, и нерастворимые соединения, оседающие на дно.

Умножив валовую продукцию бентосных организмов Западного и Восточного Балхаша на соответствующие суммарные показатели концентрации микроэлементов в бентонтах, получим количество кумулируемых поллютантов. Расчеты показали, что валовая продукция содержит в своем составе 4887,9 т суммарного количества микроэлементов, из них 1208,5 т потребляется рыбами с бентосом Западного Балхаша и 756,7 т – Восточного, суммарное потребление составляет 1965,2. Оставшаяся часть микроэлементов – 2992,7 т – в виде органических соединений подвергается разложению при отмирании кормовых организмов (табл. 3).

Таблица 3

Миграция микроэлементов, аккумулируемых бентосными организмами в экосистеме оз. Балхаш

Район озера	Объем воды, км ³	Площадь, тыс. км ²	С _{об} , т	Распределение микроэлементов в экосистеме озера			
				С _п , т	С _б , т	С _в , т	С _д , т
Западный Балхаш	55,54	11,5	3172,8	1208,5	1964,3	502,8	1461,5
Восточный Балхаш	62,84	8,1	1715,1	756,7	958,4	245,4	713,0
<i>Всего по озеру</i>	118,38	19,6	4887,9	1965,2	2922,7	748,2	2174,5

Примечание. С_{об} – суммарное количество микроэлементов, аккумулируемых бентосными организмами; С_п – количество микроэлементов, потребляемое рыбами; С_б – количество металлов, выделяемое в среду при отмирании бентоса, из них С_в – количество металлов в ионно-растворимой форме, поступающее в водную среду при разложении, С_д – количество нерастворимых металлов, осаждаемое в донный субстрат с органикой.

Экспериментальным путем установлено, что из валового содержания микроэлементов при разложении организмов бентоса в водную среду оз. Балхаш в ионно-растворимой форме переходит 25,6 %, что составляет 748,2 т. В пересчете на объем водной массы озера, при среднегодовом показателе 118,38 км³, в результате жизнедеятельности бентонтов в водную среду дополнительно поступает 0,006 г/м³. Оставшаяся часть металлов в количестве 2174,5 т вместе с нерастворимыми органическими соединениями осаждается на дно, что в пересчете на площадь озера (19,6 тыс. км²) составляет 0,11 г/м² дополнительного загрязнения грунтов. Частично поступающие компоненты вместе с донным субстратом поглощаются бентосными организмами, а частично, при деструкции органических веществ, образуют сложные комплексы химических соединений.

Заключение

Таким образом, в процессе жизненного цикла бентосные организмы при среднем значении биомассы 12,90 г/м² создают в оз. Балхаш валовую продукцию объемом 188,61 тыс. т, в которой аккумулируется 4887,9 т микроэлементов. По содержанию в биомассе бентоса доминирует цинк, на его долю приходится 1625,9 т; медь накапливается в количестве 2093,7 т; свинец и никель составляют 745,0 и 207,5 т соответственно. В минимальных количествах кумулируются кадмий –

59,8 т, мышьяк – 56,6 т и ртуть – 0,94 т. Из общего количества микроэлементов 40,2 % утилизируются рыбами с бентосом, 15,3 % в ионно-растворимой форме поступает в водную среду, 44,5 % в виде нерастворимых соединений с органическим веществом оседает на донный субстрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брень Н. В. Использование беспозвоночных для мониторинга загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами / Н. В. Брень // Гидробиологический журнал. 1999. Т. 35, № 4. С. 75–88.
2. Методическое пособие при гидробиологических исследованиях водоемов Казахстана (планктон, зообентос). Алматы, 2006. 27 с.
3. Лапицкий И. И. Направленное формирование ихтиофауны и управление численностью популяций рыб в Цимлянском водохранилище / И. И. Лапицкий // Тр. Волгоград. отд-ния гос. науч.-исслед. ин-та озерного и речного рыбного хоз-ва. Волгоград: Нижне-Волж. кн. изд-во, 1970. Т. IV. С. 65–83.
4. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С. П. Китаев. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2007. 395 с.
5. Спектрометрическое определение тяжелых металлов в объектах окружающей среды, пищевых продуктах и биологических материалах (Методические указания). Алматы, 1999. 41 с.
6. Воробьева Н. Б. Влияние антропогенных факторов на кормовую базу оз. Балхаш / Н. Б. Воробьева // Прогноз комплексного и рационального использования природных ресурсов, их охрана и перспективы развития производительных сил бассейна оз. Балхаш в период до 1990–2000 гг. Алма-Ата: Наука, 1983. С. 202–203.
7. Асылбекова С. Ж. Влияние техногенного загрязнения на эколого-биологическое состояние оз. Балхаш / С. Ж. Асылбекова, Т. Я. Лопарева, Н. Б. Воробьева, А. Н. Анурьева, Н. Н. Садырбаева, Л. П. Пономарева // Науч. тр. Южно-Казахстан. гос. ун-та им. М. Ауэзова. 2010. № 3 (21). С. 20–26.
8. Асылбекова С. Ж. Влияние воздушных выбросов промышленного комплекса ПО «Балхашцветмет» на биоценозы озера Балхаш / С. Ж. Асылбекова, К. Б. Исбеков, Т. Я. Лопарёва, А. Н. Анурьева // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2011. № 1. С. 7–14.
9. Анурьева А. Н. Влияние тяжелых металлов на количественное развитие макрозообентоса оз. Балхаш в зоне действия выбросов ПО «Балхашцветмет» / А. Н. Анурьева, Н. Б. Воробьева // Проблемы биогеохимии и геохимическая экология. Семей: Тенгри, 2012. № 2 (19). С. 44–50.
10. Крупа Е. Г. Многолетняя динамика гидробионтов озера Балхаш и ее связь с факторами среды / Е. Г. Крупа, В. Н. Цой, Т. Я. Лопарёва, Л. П. Пономарёва, А. Н. Анурьева, Н. Н. Садырбаева, С. Ж. Асылбекова, К. Б. Исбеков // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2013. № 2. С. 85–95.

Статья поступила в редакцию 27.10.2014

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анурьева Анна Николаевна – Республика Казахстан, 100300, Балхаш; Балхашский филиал Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства; научный сотрудник; научный сотрудник; fishbalhash@mail.ru.

Лопарёва Тамара Яковлевна – Республика Казахстан, 100300, Балхаш; Балхашский филиал Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства; канд. геогр. наук, старший научный сотрудник; старший научный сотрудник; fishbalchash@mail.ru.



A. N. Anurieva, T. Ya. Lopareva

**BIOCUMULATION OF MICROELEMENTS IN BENTHIC ORGANISMS
AND THEIR MIGRATION IN THE BIOTA
OF THE LAKE BALKHASH**

Abstract. The paper studies the peculiarities in the distribution of microelements in benthic organisms of the Lake Balkhash. It is found that the pollution of the lake ecosystem with toxicants causes a significant depletion of the species diversity of benthos and reduces its quantity. Zooben-

thos biomass in the Western Balkhash ranged 17.46–35.95 g/m², in East Lake Balkhash – within 1.40–3.21 g/m². Gross production of benthos in the western part of the reservoir was 87.52–162.95 thousand tonnes, in the eastern part – 20.61–138.07 thousand tonnes. Particular attention is paid to the study of the mechanism and the nature of mineral metabolism between forage organisms and the environment, including biological cycles of migration of microelements in the "ground – benthos" system. The range of tolerance of heavy metals in the sediments, within which benthos of the Lake Balkhash may exist, is 0.05–1.50 g/kg. The metal content in the soil in the amount of about 2.12 g/kg leads to almost complete disappearance of the bottom animals. Biomass of unpolluted waters of the Western and Eastern Balkhash is 9.49–18.88 g/m², which is much higher than in the waters in the zone of technogenic impact. Gross output contains in its structure 4887.9 tonnes of total number of microelements, 1.208.5 tonnes of them are recycled by fishes with benthos in the West Balkhash and 756.7 tonnes – in the Eastern Balkhash, the total consumption is 1965.2 tonnes. The remaining part of microelements, 2.992.7 tonnes, in the form of organic compounds is decomposed with the withering away of forage organisms. The studied chemical elements on their content in zoobenthos form the following descending order: Zn > Cu > Pb > Ni > Cd = As > Hg.

Key words: Lake Balkhash, biota, benthic organisms, biomass, gross output, microelements, biocumulation, accumulation, migration.

REFERENCES

1. Bren' N. V. Ispol'zovanie bespozvonochnykh dlia monitoringa zagriazneniia vodnykh ekosistem tiazhelymi metallami [The use of invertebrates for monitoring the pollution of aquatic ecosystems with heavy metals]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1999, vol. 35, no. 4, pp. 75–88.
2. *Metodicheskoe posobie pri gidrobiologicheskikh issledovaniakh vodoemov Kazakhstana (plankton, zoobentos)* [Methodical recommendations on the hydrobiological studies of the water reservoirs in Kazakhstan (plankton, zoobenthos)]. Almaty, 2006. 27 p.
3. Lapitskii I. I. Napravlennoe formirovanie ikhtiofauny i upravlenie chislennost'iu populiatsii ryb v Tsimlianskom vodokhranilishche [Directive formation of ichthyofauna and control of the number of fish population in the Tsimlyan water reservoir]. *Trudy Volgogradskogo otdeleniia gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ozernogo i rechnogo rybnogo khoziaistva*. Volgograd, Nizhne-Volzhskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1970. Vol. IV. P. 65–83.
4. Kitaev S. P. *Osnovy limnologii dlia gidrobiologov i ikhtologov* [The fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk, Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2007. 395 p.
5. *Spektrometricheskoe opredelenie tiazhelykh metallov v ob"ektakh okruzhaiushchei sredy, pishchevykh produktakh i biologicheskikh materialakh (Metodicheskie ukazaniia)* [Spectrometric determination of the heavy metals in the objects of the environment, food products and biological materials (Methodical recommendations)]. Almaty, 1999. 41 p.
6. Vorob'eva N. B. Vliianie antropicheskikh faktorov na kormovuiu bazu oz. Balkhash [Influence of anthropogenic factors on the forage base in the Lake Balkhash]. *Prognoz kompleksnogo i ratsional'nogo ispol'zovaniia prirodnnykh resursov, ikh okhrana i perspektivy razvitiia proizvoditel'nykh sil basseina oz. Balkhash v period do 1990–2000 gg.* Alma-Ata, Nauka Publ., 1983. P. 202–203.
7. Asylbekova S. Zh., Lopareva T. Ia., Vorob'eva N. B., Anur'eva A. N., Sadyrbaeva N. N., Ponomareva L. P. Vliianie tekhnogennogo zagriazneniia na ekologo-biologicheskoe sostoianie oz. Balkhash [Influence of technogenic pollution on the ecological and biological state of the Lake Balkhash]. *Nauchnye trudy Iuzhno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo universiteta im. M. Auezova*, 2010, no. 3 (21), pp. 20–26.
8. Asylbekova S. Zh., Isbekov K. B., Lopareva T. Ia., Anur'eva A. N. Vliianie vozdushnykh vybrosov promyshlennogo kompleksa PO «Balkhashtsvetmet» na biotsenozu ozera Balkhash [Influence of air exhausts of the industrial complex "Balkhashtsvetmet" on the biocenosis of the Lake Balkhash]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2011, no. 1, pp. 7–14.
9. Anur'eva A. N., Vorob'eva N. B. Vliianie tiazhelykh metallov na kolichestvennoe razvitie makrozoobentosa oz. Balkhash v zone deistviia vybrosov PO «Balkhashtsvetmet» [Influence of heavy metals on the quantitative development of the macrozoobenthos of the Lake Balkhash in the zone of wastes of the industrial complex "Balkhashtsvetmet"]. *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskaiia ekologiiia*. Semey: Tengri Publ., 2012, no. 2 (19), pp. 44–50.
10. Krupa E. G., Tsoi V. N., Lopareva T. Ia., Ponomareva L. P., Anur'eva A. N., Sadyrbaeva N. N., Asylbekova S. Zh., Isbekov K. B. Mnogoletniaia dinamika gidrobiontov ozera Balkhash i ee sviaz' s faktorami sredy [Long-term dynamics of hydrobionts in the Lake Balkhash and its connection with the environmental factors]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2013, no. 2, pp. 85–95.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anurieva Anna Nikolaevna – Republic of Kazakhstan, 100300, Balkhash; Balkhash Branch of Kazakh Research Institute of Fisheries; Senior Research Worker; Senior Research Worker; fishbalkhash@mail.ru.

Lopareva Tamara Yakovlevna – Republic of Kazakhstan, 100300, Balkhash; Balkhash Branch of Kazakh Research Institute of Fisheries; Candidate of Geography, Senior Scientific Researcher; Senior Scientific Researcher; fishbalkhash@mail.ru.

