

УДК 597.58.(574.3)+639.2.052.2  
ББК 28.693.32(5Каз)

*Е. Г. Крупа, В. Н. Цой, Т. Я. Лопарева, Л. П. Пономарёва,  
А. Н. Анурьева, Н. Н. Садырбаева, С. Ж. Асылбекова, К. Б. Исбеков*

## **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ГИДРОБИОНТОВ ОЗЕРА БАЛХАШ И ЕЕ СВЯЗЬ С ФАКТОРАМИ СРЕДЫ**

*E. G. Krupa, V. N. Tsoy, T. Yu. Lopareva, L. P. Ponomareva,  
A. N. Anureva, N. N. Sadyrbaeva, S. Zh. Assylbekova, K. B. Isbekov*

## **LONG-TERM DYNAMICS OF HYDROBIONTS IN LAKE BALKHASH AND ITS CONNECTION WITH THE ENVIRONMENTAL FACTORS**

Многолетняя динамика уровня и минерализации воды озера Балхаш отражает изменчивость ряда климатических факторов – объемов суммарного и ледникового стока рек, площади горного оледенения, количества атмосферных осадков, выпавших на водное зеркало. Выявлена отрицательная статистически значимая зависимость между многолетней динамикой биомасс планктонных сообществ и уровнем озера Балхаш. Связь многолетней динамики биомасс фитопланктона и зоопланктона с минерализацией воды была положительной. Отмечается временной сдвиг в 6–7 лет изменчивости биомасс сообществ относительно изменчивости факторов среды. При скользящем осреднении данных и временном сдвиге в 6 лет выявлена хорошая согласованность между ходом кривых биомасс фитопланктона и зоопланктона. Взаимно противоположный согласованный ход кривых биомасс фитопланктона и макрозообентоса наблюдается без временного сдвига. Обсуждаются возможные причины, лежащие в основе полученных зависимостей.

**Ключевые слова:** озеро Балхаш, многолетняя динамика, уровень, минерализация, биомасса, фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос.

Long-term dynamics of water level and mineralization of Lake Balkhash reflects the variability of a number of climatic factors – the total volume of ice and river runoff, the area of mountain glaciers, the amount of precipitation that fell on the water surface. The statistically negative significant dependence between the long-term dynamics of biomass of plankton communities and the level of Lake Balkhash has been revealed. The relationship between long-term dynamics of phytoplankton and zooplankton biomasses with water mineralization has been positive. A time shift by 6–7 years of variability of biomass communities in relation to the variability of environmental factors is observed. When a sliding averaging of data and time shifting by 6 years a good agreement between the behavior of curves of phytoplankton and zooplankton biomasses is revealed. Mutually agreed opposite dynamics of the curves of biomass of phytoplankton and macrozoobenthos is observed without time shifting. The possible reasons underlying the dependencies are discussed.

**Key words:** Lake Balkhash, long-term dynamics, level, mineralization, biomass, phytoplankton, zooplankton, macrozoobenthos.

### **Введение**

Бессточное минерализованное оз. Балхаш расположено в аридной зоне на юго-востоке Казахстана. Среднегодовое количество атмосферных осадков (по метеостанции Балхаш) составляет 129,8 мм. Среднегодовая температура воздуха – 5,9 °С. Питание озера осуществляется в основном за счет рек, впадающих с юга – Иле, Каратал, Аксу, Лепсы. Реки берут начало в горах Джунгарского Алатау в зоне ледников.

Для оз. Балхаш, как и для других водоемов аридной зоны, характерны выраженные межгодовые и межсезонные колебания уровня и минерализации воды. Гидроценозы, представленные преимущественно эврибионтными и эвригалинными видами, хорошо приспособлены к меняющимся гидролого-гидрохимическим условиям этого водоема. Количественные показатели водных сообществ подвержены значительным межгодовым и сезонным флуктуациям. Размах колебаний определяется изменением комплекса абиотических и биотических факторов, в том числе и гидролого-гидрохимическим режимом. Для различных сообществ первостепенное значение имеют различные факторы.

Спорадические исследования гидробионтов оз. Балхаш начались в 1929 г. Систематические ежегодные исследования фитопланктона проводятся с 1971 г., зообентоса и зоопланктона – с 1961 и 1963 г. соответственно. Основное внимание уделялось изучению видового состава, выделению доминантных видов и изменению уровня кормности по гидрохимическим районам озера [1–3].

Целью исследований являлся анализ многолетней динамики водных сообществ (фитопланктон, зоопланктон, зообентос) оз. Балхаш в зависимости от изменения абиотических факторов.

#### **Материал и методики исследований**

Для анализа многолетней динамики гидробионтов использованы следующие данные: по фитопланктону – с 1972 по 2012 г., по зоопланктону – с 1961 по 2012 г., по зообентосу – с 1963 по 2012 г. Гидробиологический материал отбирали в летний период по стандартной сетке из 60 станций с охватом всей акватории озера. Отбор и обработку проб фитопланктона, зоопланктона и зообентоса проводили стандартными методами [4]. Для анализа связи между биотическими и абиотическими факторами использовали данные по уровню и минерализации воды, среднегодовой температуре воздуха (по метеостанции Балхаш) за соответствующие годы. Данные по суммарному объему речного стока и количеству атмосферных осадков, выпавших на водное зеркало, площади оледенения Джунгарского Алатау и объему ледникового стока рек заимствованы из работ [5, 6].

Недостающие данные по минерализации воды были восстановлены с помощью функции «Тенденция». Соответствие распределения эмпирических рядов данных нормальному проверяли с помощью критерия хи-квадрат [7]. Для сглаживания данных использовали их логарифмирование и скользящее осреднение с шагом 3 и 5 лет. Значения коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмэна находили при уровне значимости  $p < 0,001 \dots 0,05$ . Для выявления основных трендов в многолетней изменчивости абиотических (уровень и минерализация оз. Балхаш) и биотических параметров (количественные показатели гидроценозов) строили кумулятивные кривые. Для этого находили среднемноголетнее значение каждого показателя, отклонение каждого члена ряда от среднемноголетнего значения и далее – накопленную сумму отклонений. Статистическую обработку данных проводили с помощью программ Excel и Statistica 6.

#### **Гидрологический и гидрохимический режимы озера**

Динамика гидрологического режима оз. Балхаш описана в [5, 8–10]. В изменении уровня воды хорошо выражена цикличность (рис. 1). С начала инструментальных наблюдений (1929 г.) уровень озера снижался и в 1946 г. достиг минимальной отметки в 340,7 м абс. Далее, с 1947 по 1961 г., наблюдался рост уровня воды. После достижения максимальной отметки в 343,0 м в 1962–1970 гг. произошла его некоторая стабилизация (342,60–342,86 м) и далее последовал спад, продолжавшийся до 1986 г. Существенное влияние на гидрологический режим озера в этот промежуток времени оказало наполнение Капшагайского водохранилища на р. Иле, начавшееся в 1970 г. При его отсутствии трансгрессивная фаза оз. Балхаш продолжилась бы вплоть до 1973 г., а последующие колебания уровня происходили бы вблизи более высокой отметки [5]. В последующие десятилетия вновь наступила трансгрессивная фаза с максимумом в 2005 г., небольшим снижением в последующие несколько лет и очередным повышением уровня в 2010–2012 гг. Средняя для озера минерализация воды изменялась также циклично в противофазе с изменением уровня.

Таким образом, по данным инструментальных наблюдений, полный цикл в динамике уровня оз. Балхаш (при отсутствии Капшагайского водохранилища) составил от минимума до минимума 43 лет, от максимума до максимума – 51 год. Согласно теории внутривековой изменчивости компонентов общей увлажненности А. В. Шнитникова [11], первая из указанных регрессивных фаз началась не в 1929 г., а раньше – в 1910 г. С учетом этих данных полный гидрологический цикл оз. Балхаш от минимума до минимума составил 64 года. Фаза повышения уровня озера, очевидно, еще не закончилась, даже на фоне существенного изъятия стока р. Иле для заполнения водохранилища на территории Китайской Народной Республики.

Среднемноголетняя отметка уровня за 1929–2012 гг. составила  $341,78 \pm 0,07$  м абс. Между состоянием уровня озера и величиной минерализации воды существует тесная линейная связь. По данным 1952–2012 гг., коэффициент корреляции Пирсона между этими показателями  $r = -0,887$ . Близкое значение коэффициента корреляции ( $r = -0,88$ ) между уровнем и минерализацией

зацией воды было получено для Западного Балхаша при анализе данных за менее продолжительный период (1960–1977 гг.) [12]. Наличие тесной связи между указанными показателями позволило восстановить недостающие данные по минерализации воды за период 1929–1951 гг. С учетом восстановленных данных среднемноголетия (1929–2012 гг.) величина минерализации воды составила  $2,76 \pm 0,03$  г/дм<sup>3</sup>.



Рис. 1. Многолетняя динамика минерализации и уровня воды оз. Балхаш

Как известно, уровень озера является функцией общей увлажненности территории бассейна, зависящей от климатических особенностей региона. Они определяют количество атмосферных осадков, выпавших на территории водосборного бассейна и над всей площадью озера, а также общий объем стока питающих его рек. Реки, впадающие в оз. Балхаш, берут свое начало на склонах Джунгарского Алатау в зоне ледников. Доля ледникового стока составляет в среднем 13,1 % общего и определяется количеством и площадью ледников [6]. Одной из важнейших климатических характеристик, влияющих на состояние уровня озер аридных зон, является температура воздуха. В частности, от нее зависит испаряемость воды с поверхности водного зеркала.

Согласно значениям критерия хи-квадрат, распределение данных не соответствовало нормальному, в том числе и после их преобразования. Для выяснения корреляционных зависимостей между отметкой уровня и перечисленными выше гидролого-климатическими факторами использовали непараметрические методы. Статистически значимые зависимости получены между уровнем оз. Балхаш и следующими показателями: площадью оледенения Северной Джунгарии, объемом ледникового стока, суммарным количеством атмосферных осадков, выпавших на водное зеркало (табл. 1). Наличие преимущественно слабых связей между изменениями уровня и гидролого-климатическими характеристиками обусловлено инерционностью ответной реакции такого большого водоема, как оз. Балхаш.

### Многолетняя динамика сообществ гидробионтов

Фитопланктон является основой первичной продуктивности любого водоема. Микроводоросли утилизируют поступающие в водную экосистему питательные вещества и передают их на более высокие трофические уровни.

Таксономическое разнообразие фитопланктона за период исследований (1972–2012 гг.) изменялось от 82 до 217 наименований, с наибольшим разнообразием диатомовых [13, 14]. Среднемноголетняя биомасса фитопланктона составила  $0,94 \pm 0,07$  г/м<sup>3</sup>. Величина показателя по годам варьировала от 0,17 до 1,86 г/м<sup>3</sup>. Минимальные и близкие к минимальным значения биомассы отмечались в 1974–1975, 1986, 1999 гг. Максимальные и близкие к максимальным величины показателя зафиксированы в 1992, 1994, 2012 гг. Период 1972–1995 гг. характеризовался в среднем более высокими значениями биомассы фитопланктона по сравнению с последующими десятилетиями (рис. 2, а). Доминировали чаще всего крупные диатомовые. Субдоминировали мелкие формы синезеленых.

**Коэффициенты ранговой корреляции Спирмэна между уровнем оз. Балхаш  
и гидролого-климатическими характеристиками**

Параметр	$S_{\text{олед ДА}}$	$V_{\text{леди}}$	$V_{\text{общ}}$	АО (м. Балхаш)	АО зеркало	$t, ^\circ\text{C}$ , среднегодовая (м. Балхаш)
Коэффициент ранговой корреляции Спирмэна	0,792	0,409	0,222	-0,09	0,369	-0,225
Уровень значимости	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,07$	$p < 0,526$	$p < 0,009$	$p < 0,120$
$N$	44	44	63	50	63	49

Примечание.  $S_{\text{олед ДА}}$  – площадь горного оледенения Джунгарского Алатау;  $V_{\text{леди}}$  – объем ледникового стока;  $V_{\text{общ}}$  – суммарный сток рек; АО зеркало – количество атмосферных осадков, выпавших на водное зеркало.

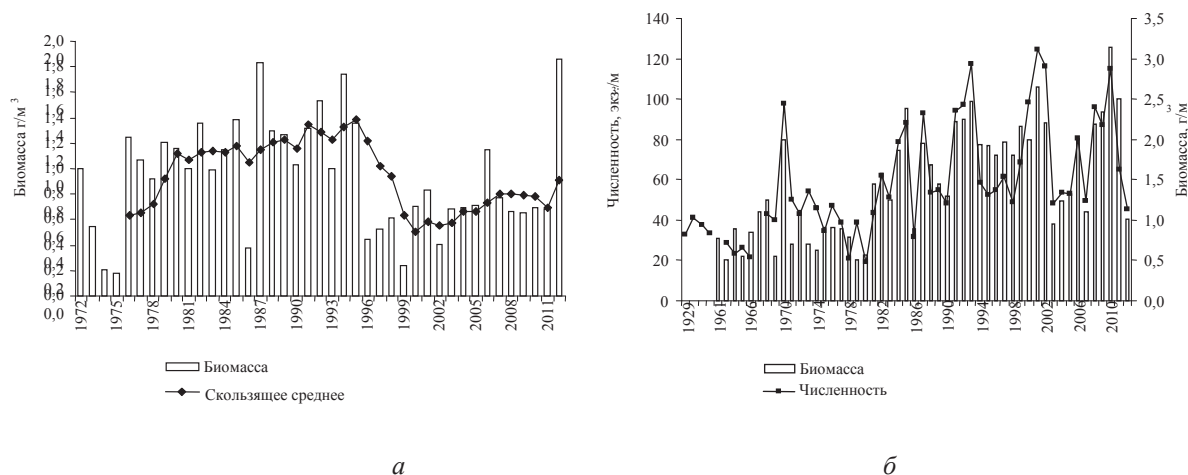


Рис. 2. Многолетняя динамика количественных показателей:  
а – фитопланктона; б – зоопланктона оз. Балхаш

Зоопланктон представлен коловратками, ветвистоусыми и веслоногими ракообразными. За весь период гидробиологических исследований (1929–2004 гг.) в составе зоопланктона было выявлено 312 таксонов [15–19].

Численность зоопланктона за рассматриваемый период варьировала в пределах 19,2–124,3 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Биомасса сообщества изменялась от 0,50 до 3,14 г/м<sup>3</sup> (рис. 2, б). Выявлен тренд увеличения количественных показателей планктонных беспозвоночных, особенно выраженный после зарегулирования стока р. Иле. Ранее нами было показано, что средние значения численности и биомассы зоопланктона в периоды до и после зарегулирования стока р. Иле различались статистически значимо [20]. Среднеголетняя численность планктонных беспозвоночных составила  $58,6 \pm 3,8$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, при величине биомассы  $1,47 \pm 0,10$  г/м<sup>3</sup>. Основу количественных показателей формировали веслоногие и ветвистоусые ракообразные. В состав доминантного комплекса входили *Arctodiaptomus salinus*, *Diaphanosoma lacustris*, *Mesocyclops leuckarti*, *Thermocyclops crassus*, в восточной части еще и *Daphnia galeata*.

Зообентос представлен аборигенными и акклиматизированными видами червей, моллюсков и членистоногих. Разнообразие донного сообщества изменялось по годам исследований от 91 до 98 видов [13]. Среднеголетняя биомасса донного сообщества с 1939 по 2012 г. составила  $8,19 \pm 1,47$  г/м<sup>2</sup>. Величина показателя изменялась от 1,30 до 49,45 г/м<sup>2</sup>. До акклиматизации донных беспозвоночных в бентофауне доминировали личинки хирономид. С 1960 по 1966 г. ведущая роль в формировании биомассы макрозообентоса принадлежала высшим ракообразным (мизидам и корофидам). С 1996 г. проявилась тенденция к резкому увеличению биомассы донного сообщества (рис. 3) за счет моллюска *Monodacna colorata*.

Анализ описательных статистик сообществ показал, что многолетнее распределение биомассы макрозообентоса отличалось от нормального. Среднеголетняя величина биомассы этого сообщества характеризовалась наибольшей дисперсией, асимметрией и коэффициентом вариации (табл. 2). Распределение значений биомассы фитопланктона и зоопланктона также отлично от нормального, хотя и в меньшей степени. Считается, что логарифмирование данных

приближает их распределение к нормальному. Этот способ выравнивания значений биомасс фитопланктона и зоопланктона привел к увеличению асимметрии и показателей вариации. Скользящее осреднение данных с шагом 5 лет снизило межгодовую вариабельность (значения стандартной ошибки, стандартного отклонения, дисперсии, коэффициента вариации) и асимметрию данных для зоопланктона и фитопланктона. Оценка распределения данных с помощью критерия хи-квадрат показала, что наибольшее приближение к нормальному распределению дает скользящее осреднение данных для фитопланктона и зоопланктона и логарифмирование – для зообентоса.

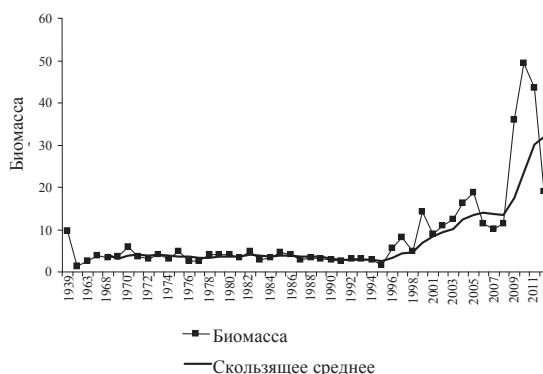


Рис. 3. Многолетняя динамика биомассы макрозообентоса оз. Балхаш

Таблица 2

**Описательная статистика для сообществ гидробионтов оз. Балхаш при различных способах выравнивания данных**

Статистики	Фитопланктон			Зообентос			Зоопланктон		
	Фактические	Скользящее среднее	log	Фактические	Скользящее среднее	log	Фактические	Скользящее среднее	log
<i>X</i>	0,94	0,94	0,28	8,19	7,15	1,67	1,47	1,48	0,27
<i>m</i>	0,07	0,04	0,02	1,47	1,06	0,12	0,09	0,07	0,07
Me	0,99	0,94	0,30	4,01	3,85	1,39	1,33	1,59	0,29
Mo	1,00	–	0,30	2,6	3,65	0,96	0,5	–	0,69
$\sigma$	0,43	0,23	0,10	10,2	7,05	0,83	0,68	0,50	0,51
$\sigma^2$	0,18	0,07	0,01	103,7	49,7	0,70	0,46	0,25	0,26
As	0,25	–0,04	–0,23	2,84	2,26	1,02	0,31	–0,12	0,32
<i>N</i>	41	37	41	48	44	48	51	47	51
<i>CV</i>	7,1	4,6	35,4	17,9	14,9	49,8	6,5	5,0	186,7
Хи-квадрат	4,85	7,10	5,20	82,00	52,00	17,9	8,4	8,80	10,8
<i>df</i>	3	2	2	3	2	3	5	4	4
<i>p</i>	0,25	0,03	0,07	0,00000	0,00000	0,00005	0,135	0,06	0,03

Примечание. *X* – среднее значение; *m* – стандартная ошибка; Me – медиана; Mo – мода;  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $\sigma^2$  – дисперсия выборки; As – асимметрия; *N* – число членов в вариационном ряду; *CV* – коэффициент вариации.

Для выяснения корреляционных зависимостей между количественными показателями водных сообществ и абиотическими факторами находили коэффициенты ранговой корреляции Пирсона и Спирмэна при различных способах сглаживания исходных данных. Зависимости между многолетней динамикой биомасс всех сообществ и такими абиотическими факторами, как максимальная, минимальная, среднегодовая температура, количество атмосферных осадков были статистически незначимы. Выявлена статистически значимая отрицательная связь между площадью горного оледенения и численностью ( $R = -0,627, p < 0,001$ ) и биомассой зоопланктона ( $R = -0,724, p < 0,001$ ). При скользящем трехлетнем осреднении данных получены статистически значимые зависимости



между объемом ледникового стока и биомассой фитопланктона ( $R = -0,61, p < 0,05$ ) и зоопланктона ( $R = -0,57, p < 0,05$ ) (рис. 4), а также между величинами биомассы сообществ и гидролого-гидрохимическими показателями – уровнем и минерализацией воды оз. Балхаш (табл. 3).

Согласно шкале Чедокка [7], между многолетней динамикой биомассы зообентоса и уровнем оз. Балхаш существует слабая статистически значимая связь. Умеренная по силе отрицательная связь выявлена между биомассой зоопланктона и уровнем, положительная, также умеренная по силе связь, – между биомассой зоопланктона и минерализацией воды. Более тесные линейные связи с абиотическими факторами получены при скользящем осреднении данных. Для фитопланктона и зоопланктона зависимости были аналогичными по знаку – отрицательные с уровнем и положительные – с минерализацией воды.

Противоположные по знаку относительно других сообществ значения коэффициентов корреляции с абиотическими факторами получены для макрозообентоса. Значения коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмэна, полученные при различных способах сглаживания данных (табл. 4), не противоречили друг другу, хотя были неравнозначными по силе связи.

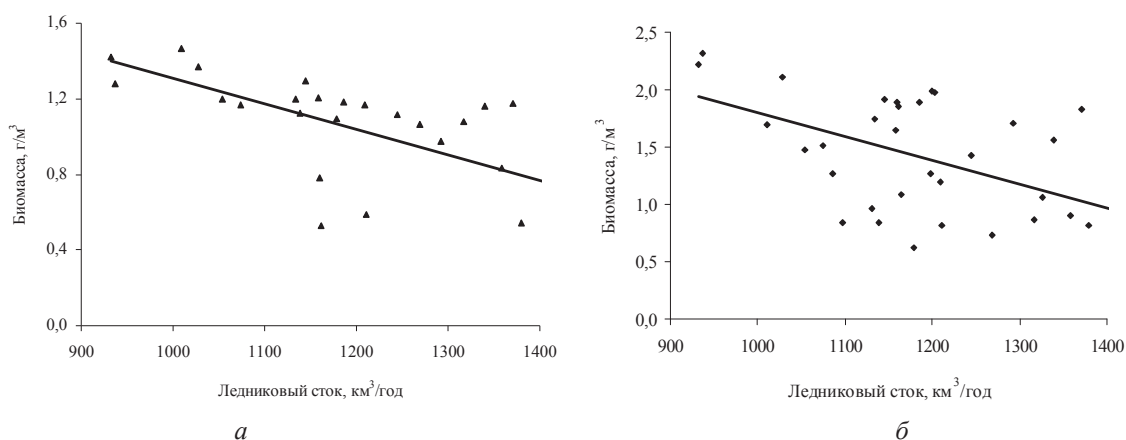


Рис. 7. Динамика биомассы: а – фитопланктона; б – зоопланктона в зависимости от объема ледникового стока

Таблица 3

**Коэффициенты ранговой корреляции Спирмэна между биомассой фитопланктона, зоопланктона, зообентоса и гидролого-гидрохимическими показателями оз. Балхаш**

Показатель	Фитопланктон				Зообентос				Зоопланктон			
	<i>N</i>	<i>R</i>	<i>t</i> ( <i>N</i> - 2)	<i>p</i> -level	<i>N</i>	<i>R</i>	<i>t</i> ( <i>N</i> - 2)	<i>p</i> -level	<i>N</i>	<i>R</i>	<i>t</i> ( <i>N</i> - 2)	<i>p</i> -level
*Биомасса & уровень	41	-0,290	-1,891	0,066	48	0,299	2,122	0,039	51	-0,398	-3,032	0,004
*Биомасса & минерализация	41	0,258	1,665	0,104	48	-0,233	-1,622	0,112	51	0,494	3,975	0,001
**Биомасса & уровень	37	-0,636	-4,871	0,001	44	0,466	3,415	0,001	47	-0,438	-3,265	0,002
**Биомасса & минерализация	37	0,588	4,300	0,001	44	-0,323	-2,215	0,032	47	0,502	3,895	0,001

Примечание. *N* – число членов в ряду; *R* – коэффициент ранговой корреляции Спирмэна; *t* – критерий Стьюдента; *p*-level – уровень значимости; \* – фактические данные; \*\* – скользящее среднее с шагом осреднения 5 лет.

Таблица 4

**Коэффициенты корреляции Пирсона и Спирмэна между биомассой фитопланктона, зоопланктона, зообентоса и гидролого-гидрохимическими показателями оз. Балхаш**

Показатель	Фитопланктон				Зообентос				Зоопланктон			
	log ( <i>r</i> )	log ( <i>R</i> )	CC( <i>r</i> )	CC( <i>R</i> )	log ( <i>r</i> )	log ( <i>R</i> )	CC( <i>r</i> )	CC( <i>R</i> )	log ( <i>r</i> )	log ( <i>R</i> )	CC( <i>r</i> )	CC ( <i>R</i> )
Биомасса & уровень	-0,280	-0,290	-0,630	-0,636	0,360	0,299	0,420	0,466	-0,370	-0,398	-0,440	-0,438
Биомасса & минерализация	0,270	0,260	0,590	0,588	-0,210	-0,233	-0,160	-0,323	0,530	0,494	0,620	0,502

Примечание. log – логарифм значений; CC – скользящее среднее с шагом 5 лет; *r* – коэффициент корреляции Пирсона; *R* – коэффициент корреляции Спирмэна.

Наглядное представление о выявленных корреляционных зависимостях дают кумулятивные кривые, показывающие основное направление изменчивости во времени количественных показателей водных сообществ на фоне изменчивости факторов среды (рис. 5). Во всех случаях отмечался аналогичный по направленности временной сдвиг изменчивости биомассы фитопланктона и зоопланктона по отношению к колебаниям уровня и минерализации воды. По сравнению с величиной биомассы изменчивость численности зоопланктона в межгодовом аспекте была выражена сильнее.

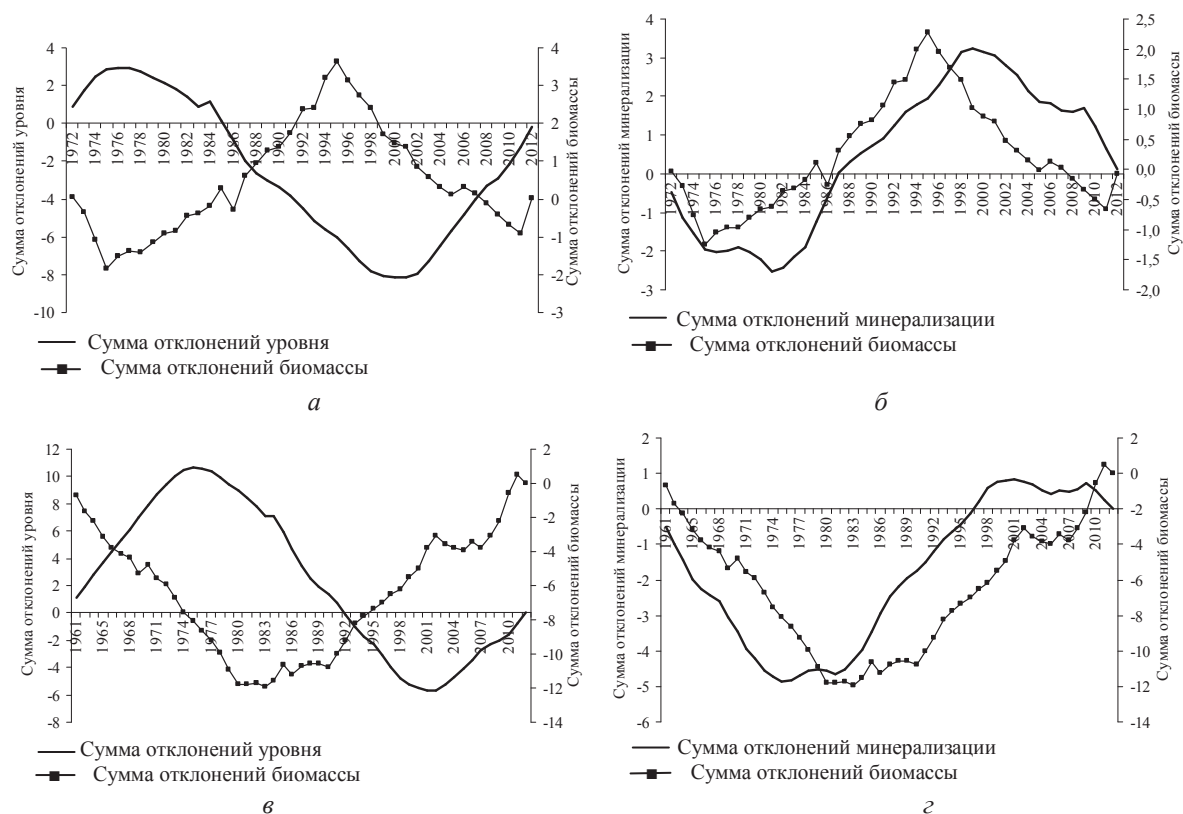


Рис. 5. Кумулятивные кривые, характеризующие изменчивость биомассы: а, б – фитопланктона; в, г – зоопланктона в зависимости от уровня и минерализации воды оз. Балхаш

Многолетняя изменчивость биомассы макрозообентоса на фоне изменчивости гидролого-гидрохимического режима озера носила иной, по сравнению с планктонными сообществами, характер. На большей части рассматриваемого отрезка времени сумма накопленных отклонений биомассы донного ценоза от среднемноголетних значений была хорошо согласована с аналогичными отклонениями уровня озера и, соответственно, находилась в противофазе с изменениями минерализации воды (рис. 6). Так же как и для планктонных сообществ, в изменчивости биомассы макрозообентоса прослеживался сдвиг во времени относительно выявленного тренда абиотических параметров.

Между многолетней динамикой биомасс фитопланктона и зоопланктона, зоопланктона и зообентоса зависимости были статистически незначимы. Сравнение кумулятивных кривых, характеризующих многолетнюю изменчивость биомасс фитопланктона и зоопланктона во временном интервале 1972–2012 гг., выявило их одинаковую направленность (рис. 7, а), со сдвигом в изменчивости показателей одного сообщества относительно другого на 6–7 лет. Биомасса донного сообщества изменялась в противофазе с изменчивостью планктонных сообществ. Выявлена статистически значимая отрицательная связь между биомассой фитопланктона и зообентоса ( $R = -0,459, p < 0,003$ ).

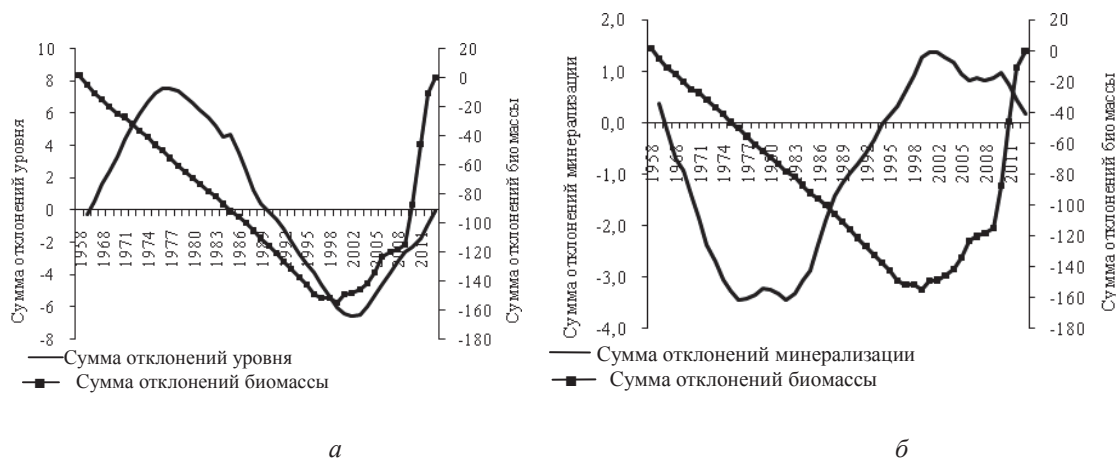


Рис. 6. Кумулятивные кривые, характеризующие изменчивость биомассы макрозообентоса оз. Балхаш: *а* – в зависимости от уровня; *б* – от минерализации воды

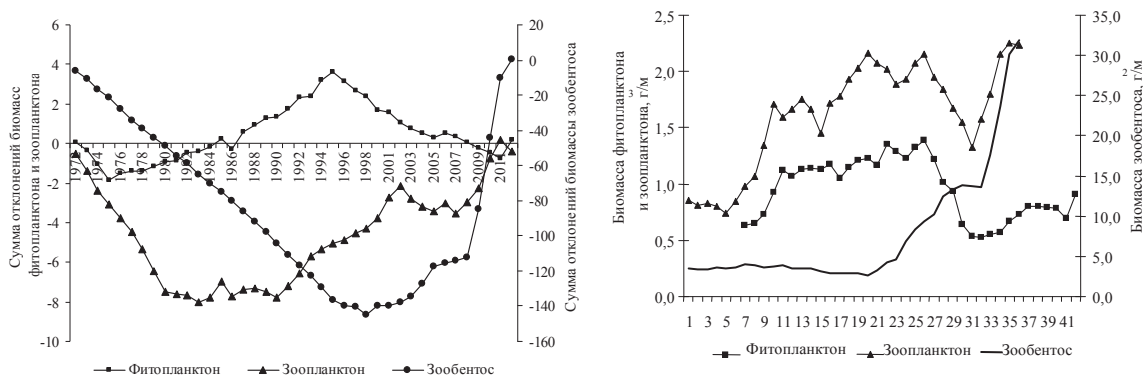


Рис. 7. Многолетняя изменчивость биомассы фитопланктона, зоопланктона и зообентоса оз. Балхаш: *а* – кумулятивные кривые; *б* – скользящее осреднение данных и сдвиг кривой биомассы фитопланктона вперед на 6 лет

При скользящем осреднении данных и временном сдвиге в 6 лет наблюдалась хорошая согласованность между ходом кривых биомасс фитопланктона и зоопланктона (рис. 7, *б*). Взаимно противоположный согласованный ход кривых биомасс фитопланктона и макрозообентоса наблюдается без временного сдвига.

### Заключение

Бессточные водоемы являются хорошими индикаторами изменчивости общей увлажненности территории, обусловленной климатическими флуктуациями. Циклические изменения уровня оз. Балхаш – яркий тому пример. О климатической обусловленности изменчивости уровня оз. Балхаш свидетельствует хорошая согласованность с такими индикаторами климатических флуктуаций, как площадь горного оледенения и объем ледникового стока рек.

Изменчивость уровня воды оказывает влияние на различные стороны жизни водоема. Наиболее тесно связанным с уровнем параметром является минерализация воды. От изменчивости этих двух факторов, в свою очередь, зависит многолетняя вариабельность биотических параметров.

Оценка влияния абиотических факторов на биотические параметры вызывает определенные трудности. К ним можно отнести ошибки отбора данных, обусловленные даже небольшим отклонением срока отбора гидробиологических проб в разные годы, а также климатическими условиями разных лет. Чрезвычайно важным моментом является несоответствие распределения эмпирических рядов данных нормальному, даже после их преобразования. Между тем большинство статистических процедур применимы только при соблюдении условия нормальности исходных или преобразованных данных. Непараметрические критерии менее разнообразны и отличаются меньшей статистической мощностью по сравнению с их параметрическими аналогами.



Использование коэффициента ранговой корреляции Спирмэна для анализа связи между преобразованными данными выявило слабые и умеренные по силе зависимости между биомассой зообентоса и уровнем, между биомассой зоопланктона и уровнем, между численностью и биомассой зоопланктона и минерализацией воды. Отсутствовали связи между многолетней изменчивостью биомассы фитопланктона и абиотическими параметрами. Сглаживание данных методом скользящего среднего показало наличие более сильных статистически значимых связей между абиотическими факторами и количественными показателями всех сообществ, при сохранении знака коэффициентов корреляции. Значения коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмэна, полученные при различных способах сглаживания данных, не противоречили друг другу, хотя и были неравнозначными по силе связи. Более высокие значения коэффициентов корреляции Спирмэна при сглаживании данных скользящим усреднением связаны, очевидно, с меньшим влиянием ошибок ежегодного отбора данных и вариабельности климатических условий.

Наличие отрицательной зависимости между уровнем воды и биомассой планктонных сообществ можно объяснить следующим образом. Основным лимитирующим фактором для развития растительных клеток является содержание соединений азота и фосфора. Межгодовая динамика концентраций этих веществ в воде водоема определяется их поступлением с территории водосбора и содержанием биогенных соединений в самом водоеме. Ранее нами было показано, что если количество биогенных элементов, накопленных в водоеме, меньше, чем поступает с территории водосбора, между уровнем озер и количественными показателями зоопланктона отмечается прямая зависимость [20]. Для водоемов с ледниковым питанием впадающих рек эта зависимость обратная, т. к. в многоводные годы происходит разбавление озерной воды речными водами, бедными питательными соединениями. Очевидно, это справедливо и для оз. Балхаш с ледниковым питанием впадающих в него рек. Подтверждением этому является отмеченная выше статистически значимая корреляционная зависимость между объемом ледникового стока рек и биомассой фитопланктона и зоопланктона.

Отсутствие статистически значимой связи между многолетней динамикой фитопланктона и зоопланктона обусловлено временным запаздыванием изменчивости второго сообщества относительно первого с лаг-периодом 6–7 лет. Это свидетельствует, с одной стороны, о слабом влиянии зоопланктонного сообщества на количественные показатели фитопланктона, а с другой – о наличии внешнего фактора, вызывающего однонаправленные многолетние изменения планктонных сообществ. Зообентос оказывает более сильное контролирующее влияние на фитопланктонное сообщество, что проявляется в наличии статистической значимой отрицательной корреляционной зависимости между многолетней изменчивостью биомасс этих сообществ. Это связано с усилением доминирования в донном сообществе двустворчатых моллюсков, питающихся простейшими, органическими веществами, бактериями, фитопланктоном [21]. Доля *Monodacna colorata* в суммарной биомассе макрозообентоса возросла в последние десятилетия до 75,3–95,6 %. Перестройка структуры донного сообщества вызвана существенным сокращением промыслового стада бентосоядных рыб, в основном сазана, популяция которого представлена преимущественно особями младших возрастов. В результате недоиспользования сазаном моллюска как кормового объекта суммарная биомасса бентоса в 1996–2012 гг. ( $17,50 \pm 3,37$  г/м<sup>2</sup>) в среднем в 4 раза превысила величину показателя за предыдущие годы ( $3,53 \pm 0,26$  г/м<sup>2</sup>).

Если биомасса макрозообентоса за счет моллюска *Monodacna colorata* сохранится на высоком уровне, следует ожидать через несколько лет снижения в среднем для озера количественных показателей зоопланктонного сообщества как конкурентного потребителя фитопланктона. С учетом того, что моллюск встречается только в Западном Балхаше, произойдет перераспределение обилия фитопланктона и, соответственно, зоопланктона в пространственном отношении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрсов В. Н. Озеро Балхаш / В. Н. Абрсов. Л.: Наука, 1973. 180 с.
2. Садуакасова Р. Е. Динамика зоопланктона оз. Балхаш в связи с изменениями водного режима / Р. Е. Садуакасова // Биол. основы рыбного хоз-ва водоемов Средней Азии и Казахстана. Фрунзе, 1981. С. 367–369.
3. Мануйлова Е. Ф. О зоопланктоне и бентосе озера Балхаш / Е. Ф. Мануйлова // Фонды Балхашского отделения ВНИОРХ. 1944. 45 с.
4. Методическое пособие при гидробиологических исследованиях водоемов Казахстана (планктон, зообентос). Алматы, 2006. 27 с.

5. *Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне озера Балхаш* / под ред. А. Б. Самаковой. Алматы: Каганат, 2003. 584 с.
6. *Вилесов Е. Н.* Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее / Е. Н. Вилесов, В. И. Морозова, И. В. Северский. Алматы, 2013. 244 с.
7. *Макарова Н. В.* Статистика в Excel / Н. В. Макарова, В. Я. Трофимец. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
8. *Курдюков К. В.* Современные колебания уровня озера Балхаш по геоморфологическим и историческим данным / К. В. Курдюков // Изв. АН СССР. Сер. географ. 1958. № 4. С. 32–41.
9. *Кудеков Т. К.* Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш / Т. К. Кудеков. Алматы: Каганат, 2002. 386 с.
10. *Амиргалиев Н. А.* Гидрологический и гидрохимический режим оз. Балхаш в условиях зарегулированного стока рек / Н. А. Амиргалиев, Э. Н. Григорьева, В. Ш. Саенко // Прогноз комплексного и рационального использования природных ресурсов, их охрана и перспективы развития производительных сил бассейна оз. Балхаш в период до 1990–2000 гг. Ч. 2. Алма-Ата: Наука КазССР, 1982. С. 70–76.
11. *Шнитников А. В.* Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности / А. В. Шнитников. Л.: Наука, 1969. 246 с.
12. *Федюшин И. А.* К вопросу об установлении связи между уровнем и общей минерализацией воды в оз. Балхаш / И. А. Федюшин // Прогноз комплексного и рационального использования природных ресурсов, их охрана и перспективы развития производительных сил бассейна оз. Балхаш в период до 1990–2000 гг. Ч. 2. Алма-Ата: Наука КазССР, 1982. С. 77–81.
13. *Воробьева Н. Б.* Современное состояние и перспективы развития кормовой базы рыб оз. Балхаш в зависимости от уровня режима / Н. Б. Воробьева, С. К. Тютеньков, Р. Е. Садукасова, А. С. Фокина // Прогноз комплексного и рационального использования природных ресурсов, их охрана и перспективы развития производительных сил бассейна оз. Балхаш в период до 1990–2000 гг. Ч. 2. Алма-Ата: Наука КазССР, 1982. С. 129–132.
14. *Фокина А. С.* Современное состояние фитопланктона оз. Балхаш / А. С. Фокина // Прогноз комплексного и рационального использования природных ресурсов, их охрана и перспективы развития производительных сил бассейна оз. Балхаш в период до 1990–2000 гг. Ч. 2. Алма-Ата: Наука КазССР, 1982. С. 137–140.
15. *Григорьева Э. Н.* Влияние сточных вод промышленных предприятий на гидробионтов озера Балхаш / Э. Н. Григорьева, Н. А. Амиргалиев, Н. Г. Сергеева // Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана. Ташкент, 1972. С. 71–72.
16. *Стуге Т. С.* Краткие итоги изучения зоопланктона оз. Балхаш / Т. С. Стуге, Т. Т. Трошина // Tethys Aqua Zoological Research. 2003. Т. 2. С. 53–60.
17. *Трошина Т. Т.* Кюловратки озера Балхаш в летний период 2003–2005 гг. / Т. Т. Трошина // Материалы Междунар. науч. конф. «Биоразнообразие животного мира Казахстана, проблемы сохранения и использования». Алматы, 2007. С. 78–81.
18. *Крупа Е. Г.* Таксономическое разнообразие и количественное развитие микрофауны озера Балхаш / Е. Г. Крупа, Т. С. Стуге // Aqua Zoological Research. 2008. Т. 4. С. 45–56.
19. *Крупа Е. Г.* Многолетняя динамика количественных показателей зоопланктона озера Балхаш / Е. Г. Крупа, К. Шарипова // Исследования, результаты. 2009. № 4. С. 15–18.
20. *Крупа Е. Г.* Зоопланктон лимнических и лотических экосистем Казахстана. Структура, закономерности формирования / Е. Г. Крупа. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. 346 с.
21. *Алимов А. Ф.* Функциональная экология двустворчатых моллюсков / А. Ф. Алимов // Тр. Зоолог. ин-та АН СССР. Т. 96. Л.: Ленинград. отд-ние, 1981. 248 с.

## REFERENCES

1. Abrosov V. N. *Ozero Balkhash* [Lake Balkhash]. Leningrad, Nauka Publ., 1973. 180 p.
2. Saduakasova R. E. Dinamika zooplanktona oz. Balkhash v sviazi s izmeneniami vodnogo rezhima [Dynamics of zooplankton of Lake Balkhash due to the changes of water regime]. *Biologicheskie osnovy rybnogo khoziaistva vodoemov Srednei Azii i Kazakhstana*. Frunze, 1981, pp. 367–369.
3. Manuilova E. F. *O zooplanktone i bentose ozera Balkhash* [On zooplankton and benthos of Lake Balkhash]. Fondy Balkhashskogo otdeleniia VNIORKh, 1944. 45 p.
4. *Metodicheskoe posobie pri gidrobiologicheskikh issledovaniiah vodoemov Kazakhstana (plankton, zoobentos)* [Methodical recommendations on hydrobiological researches of Kazakhstan water basins (plankton, zoobenthos)]. Almaty, 2006. 27 p.
5. *Problemy gidroekologicheskoi ustoichivosti v basseine ozera Balkhash* [Problems of hydroecological stability in the basin of Lake Balkhash]. Pod redaktsiei A. B. Samakovoi. Almaty, Kaganat Publ., 2003. 584 p.
6. Vilesov E. N., Morozova V. I., Severskii I. V. *Oledenenie Dzhungarskogo (Zhetysu) Alatau: proshloe, nastoiashchee, budushchee* [Dzhungar Alatau glaciation: past, present and future]. Almaty, 2013. 244 p.

7. Makarova N. V., Trofimets V. Ia. *Statistika v Excel* [Statistics in Excel]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2002. 368 p.
8. Kurdiukov K. V. Sovremennye kolebaniia urovnia ozera Balkhash po geomorfologicheskim i istoricheskim dannym [Current fluctuations of the level of Lake Balkhash by geomorphological and historical data]. *Izvestiia AN SSSR. Seriya geograficheskaya*, 1958, no. 4, pp. 32–41.
9. Kudekov T. K. *Sovremennoe ekologicheskoe sostoianie basseina ozera Balkhash* [Present ecological state of the Lake Balkhash basin]. Almaty, Kaganat Publ., 2002. 386 p.
10. Amirgaliev N. A., Grigor'eva E. N., Saenko V. Sh. *Gidrologicheskii i gidrokhimicheskii rezhim oz. Balkhash v usloviakh zaregulirovannogo stoka rek* [Hydrological and hydrochemical regime of Lake Balkhash in conditions of regulated river flow]. *Prognoz kompleksnogo i ratsional'nogo ispol'zovaniia prirodnikh resursov, ikh okhrana i perspektivy razvitiia proizvoditel'nykh sil basseina oz. Balkhash v period do 1990–2000 gg. Ch. 2.* Alma-Ata, Nauka KazSSR Publ., 1982, pp. 70–76.
11. Shnitnikov A. V. *Vnutrivenkovaia izmenchivost' komponentov obshchei uvlazhnennosti* [Long-term variability of the components of general humidity]. Leningrad, Nauka Publ., 1969. 246 p.
12. Fediushin I. A. K voprosu ob ustanovlenii svyazi mezhdu urovnem i obshchei mineralizatsiei vody v oz. Balkhash [To the problems of establishment of relationship between the level and general water mineralization in Lake Balkhash]. *Prognoz kompleksnogo i ratsional'nogo ispol'zovaniia prirodnikh resursov, ikh okhrana i perspektivy razvitiia proizvoditel'nykh sil basseina oz. Balkhash v period do 1990–2000 gg. Ch. 2.* Alma-Ata, Nauka KazSSR Publ., 1982, pp. 77–81.
13. Vorob'eva N. B., Tiuten'kov S. K., Sadukasova R. E., Fokina A. S. *Sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia kormovoi bazy ryb oz. Balkhash v zavisimosti ot urovennogo rezhima* [Present state and perspectives of development of forage base of Lake Balkhash fishes depending on the level regime]. *Prognoz kompleksnogo i ratsional'nogo ispol'zovaniia prirodnikh resursov, ikh okhrana i perspektivy razvitiia proizvoditel'nykh sil basseina oz. Balkhash v period do 1990–2000 gg. Ch. 2.* Alma-Ata, Nauka KazSSR Publ., 1982, pp. 129–132.
14. Fokina A. S. *Sovremennoe sostoianie fitoplanktona oz. Balkhash* [Present state of phytoplankton in Lake Balkhash]. *Prognoz kompleksnogo i ratsional'nogo ispol'zovaniia prirodnikh resursov, ikh okhrana i perspektivy razvitiia proizvoditel'nykh sil basseina oz. Balkhash v period do 1990–2000 gg. Ch. 2.* Alma-Ata, Nauka KazSSR Publ., 1982, pp. 137–140.
15. Grigor'eva E. N., Amirgaliev N. A., Sergeeva N. G. *Vliianie stochnykh vod promyshlennykh predpriatii na gidrobiontov ozera Balkhash* [Influence of sewage waters of the industrial enterprises on the hydrobionts of Lake Balkhash]. *Biologicheskie osnovy rybnogo khoziaistva vodoemov Srednei Azii i Kazakhstana.* Tashkent, 1972, pp. 71–72.
16. Stuge T. S., Troshina T. T. *Kratkie itogi izucheniia zooplanktona oz. Balkhash* [Summarized results on studying zooplankton in Lake Balkhash]. *Tethys Aqua Zoological Research*, 2003, vol. 2, pp. 53–60.
17. Troshina T. T. *Kolovratki ozera Balkhash v letnii period 2003–2005 gg.* [Rotifers of lake Balkhash during summer period 2003–2005]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Bioraznoobrazie zivotnogo mira Kazakhstana, problemy sokhraneniia i ispol'zovaniia».* Almaty, 2007, pp. 78–81.
18. Krupa E. G., Stuge T. S. *Taksonomicheskoe raznoobrazie i kolichestvennoe razvitie mikrorakobraznykh ozera Balkhash* [Taxonomic variation and quantitative development of microcrustaceans in Lake Balkhash]. *Aqua Zoological Research*, 2008, vol. 4, pp. 45–56.
19. Krupa E. G., Sharipova K. *Mnogoletniaia dinamika kolichestvennykh pokazatelei zooplanktona ozera Balkhash* [Long-term dynamics of numerical indices of zooplankton of Lake Balkhash]. *Issledovaniia, rezul'taty*, 2009, no. 4, pp. 15–18.
20. Krupa E. G. *Zooplankton limnicheskikh i loticheskikh ekosistem Kazakhstana. Struktura, zakonmernosti formirovaniia* [Zooplankton of limnic and lotic ecosystems in Kazakhstan. Structure, peculiarities of formation]. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. 346 p.
21. Alimov A. F. *Funktsional'naiia ekologiia dvustvorchatykh molliuskov* [Functional ecology of bivalve mollusks]. *Trudy Zoologicheskogo instituta AN SSSR.* Vol. 96. Leningrad: Leningradskoe otdelenie, 1981. 248 p.

Статья поступила в редакцию 17.05.2013

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Крупа Елена Григорьевна** — Институт зоологии Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы; г-р биол. наук; главный научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии; elena\_krupa@mail.ru.

**Крупа Елена Григорьевна** – Institute of Zoology of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty; Doctor of Biological Sciences; Main Research Worker of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology; elena\_krupa@mail.ru.

**Цой Вячеслав Николаевич** – Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Балхашский филиал; директор; Tsoy-balkhash@mail.ru.

**Tsoy Vyacheslav Nickolaevich** – Kazakh Research Institute of Fishery; Balkhash branch; Director; Tsoy-balkhash@mail.ru.

**Лопарева Тамара Яковлевна** – Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Балхашский филиал; канд. геогр. наук, старший научный сотрудник; старший научный сотрудник; fishbalchash@mail.ru.

**Lopareva Tamara Yakovlevna** – Kazakh Research Institute of Fishery, Balkhash branch; Candidate of Geographical Sciences, Senior Scientific Researcher; fishbalchash@mail.ru.

**Пономарёва Любовь Петровна** – Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Балхашский филиал; младший научный сотрудник; fishbalchash@mail.ru.

**Ponomareva Lyubov Petrovna** – Kazakh Research Institute of Fishery, Balkhash branch; Junior Research Worker; fishbalchash@mail.ru.

**Садырбаева Наталья Николаевна** – Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Балхашский филиал; зав. лабораторией; natasadyr@mail.ru.

**Sadyrbayeva Natalia Nickolaevna** – Kazakh Research Institute of Fishery, Balkhash branch; Manager of the laboratory; natasadyr@mail.ru.

**Анурьева Анна Николаевна** – Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Балхашский филиал; Балхашский филиал; научный сотрудник; fishbalchash@mail.ru.

**Anuryeva Anna Nickolaevna** – Kazakh Research Institute of Fishery, Balkhash branch; Research Worker; fishbalchash@mail.ru.

**Асылбекова Сауле Жангировна** – Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Алматы; канд. биол. наук; зам. генерального директора; assylbekova@mail.ru.

**Assylbekova Saule Zhangirovna** – Kazakh Scientific Research Institute of Fishery, Almaty; Candidate of Biological Sciences; Deputy of General Director; assylbekova@mail.ru.

**Исбеков Куаныш Байболатович** – Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Алматы; канд. биол. наук; генеральный директор; isbekov@mail.ru.

**Isbekov Kuanysh Baibulatovich** – Kazakh Scientific Research Institute of Fishery, Almaty; Candidate of Biological Sciences; General Director; isbekov@mail.ru.