

УДК 574.587(262.81):576.3/7

А.Н. Анурьева \*

Канд. геогр. наук Т.Я. Лопарева \*

**КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ БИОМАССЫ КОРМОВЫХ ОРГАНИЗМОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОТЫ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ В ОЗЕРЕ БАЛХАШ****Сообщение 1. Влияние загрязнения донных отложений микроэлементами на количественное развитие бентосных сообществ***КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ, ЗООБЕНТОС, БИОМАССА, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ*

*В статье представлены сведения о корреляционной зависимости биомассы бентосных сообществ оз. Балхаш от загрязнения донного субстрата тяжелыми металлами. По результатам исследований сделан вывод о том, что качественный состав и количественное развитие бентофауны зависят от воздействия антропогенного загрязнения биотопов микроэлементами и от естественного состояния биоценозов (гранулометрического состава грунтов и наличия органики в них).*

Озеро Балхаш относится к крупнейшим водоемам Казахстана, а по объему водной массы занимает второе место после оз. Байкал.

Увеличение масштабов и интенсивности антропогенного воздействия на экосистему озера вызывает необходимость изменения уровня устойчивости природного комплекса, в частности, кормовых организмов, и их способность к адаптации. В результате разной толерантности бентосных беспозвоночных к условиям загрязнения тяжелыми металлами, качественные и количественные показатели водных сообществ подвержены значительным флуктуациям. Поэтому проводимые исследования по выявлению антропогенного воздействия на кормовую базу рыб озера являются актуальными.

Токсикологический облик оз. Балхаш определяется тяжелыми металлами, поступающими по рекам с осадками, а также с выбросами промышленных предприятий, основная доля которых приходится на Балхаш-

---

\* Балхашский филиал ТОО КазНИИ рыбного хозяйства, г. Балхаш

ский металлургический комплекс. Вступая во взаимодействие с грунтами, микроэлементы оказывают существенное влияние на интенсивность развития донной фауны.

Бентосные организмы являются основной кормовой базой для промысловых рыб бентофагов (сазан, лещ, вобла) оз. Балхаш. Качественные и количественные показатели зообентоса величины непостоянные и широко варьируют в зависимости от естественных и антропогенных факторов.

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 низкую биомассу.

В данной статье представлена характеристика зависимости биомассы бентосных сообществ от загрязнения их среды обитания – донного субстрата тяжелыми металлами. На основании многолетних мониторинговых исследований выполнена статистическая обработка полученных результатов, определено наличие корреляционной связи между биомассой и суммарным содержанием микроэлементов в донных отложениях, а также выделены отдельные компоненты, оказывающие доминирующую роль на видовой состав и количественное развитие кормовых организмов.

Цель работы заключается в исследовании степени зависимости количественного развития доминирующих видов бентосных беспозвоночных оз. Балхаш от загрязнения их среды обитания.

Материалом для статьи послужили результаты многолетних исследований в пространственно-временном аспекте (2006...2014 гг.) качественного и количественного состава бентосных организмов, а также накопления микроэлементов в среде обитания.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы Microsoft Office Excel.

Отбор и обработку проб кормовых организмов, а также расчет биомассы зообентоса проводили в соответствии с общепринятой методикой [6].

Пробы на микроэлементы в донных отложениях и бентонтах обрабатывались атомно-абсорбционным методом [7].

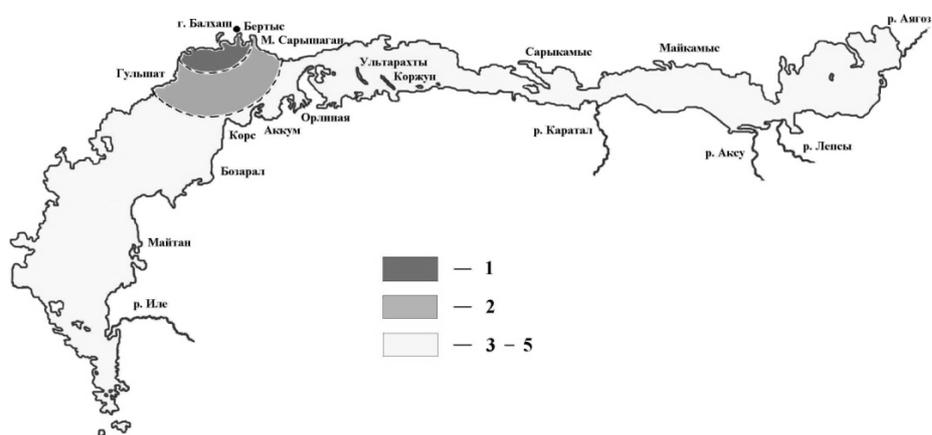
Результаты исследований нашли отражение в ряде публикаций [1-5].

Метод статистической обработки является способом информации для характеристики процесса количественного развития (биомасса) зообентоса и наблюдаемых его флуктуаций от отдельных естественных и антропогенных составляющих среды обитания.

В результате статистического анализа выявлено, что между биомассой бентонтов и количеством тяжелых металлов в донных отложениях существует корреляционная зависимость с широким диапазоном тесноты связи, определяемой коэффициентом корреляции.

Величины коэффициентов корреляции существенно различаются по акватории оз. Балхаш в районах с естественным режимом функционирования бентосных организмов и при выраженном антропогенном воздействии на среду обитания.

По степени корреляции на оз. Балхаш выделено пять акваториальных зон, отличающихся друг от друга видовым составом, биомассой кормовых организмов, а также количественным содержанием металлов в донном субстрате (рис. 1).



*Рис. 1. Акваториальные зоны загрязнения оз. Балхаш. 1 – зона сильного загрязнения, 2 – зона умеренного загрязнения, 3...5 – зоны слабого загрязнения.*

В результате экспериментальных исследований определена площадь загрязнения биоты озера воздушными выбросами Балхашского комплекса, составляющая около 3453 км<sup>2</sup>. Ареал полихет и хирономид с повышенным содержанием тяжелых металлов простирается в юго-западном направлении до 45 км, в юго-восточном – до 59 км и в южном – до 52 км с общей площадью 2100 км<sup>2</sup>.

Выявлена значительная отрицательная корреляция между биомассой и загрязнением грунтов. Снижение биомассы зообентоса коррелирует с повышением содержания загрязнения. Количественное развитие бентоса имеет обратную зависимость – высокое содержание микроэлементов – низкая биомасса бентонтов.

К зонам наибольшего загрязнения донных отложений микроэлементами относятся 1-ая и 2-ая зоны. Они включают бухту Бертыс и залив Торангалык, расположенные на расстоянии 3,4 км и 7,1 км от Балхашского промышленного комплекса и имеют аномально высокие значения концентрации металлов (рис. 2).

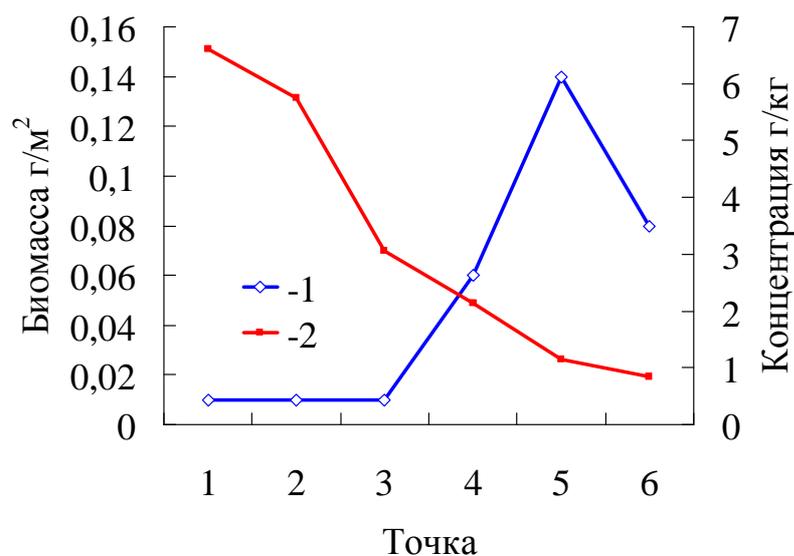


Рис. 2. Зависимость биомассы (1) зообентоса от загрязнения грунта тяжелыми металлами (2), (1 и 2 зоны).

Суммарное содержание микроэлементов в донном субстрате бухты Бертыс варьирует в интервале 0,85...6,61 г/кг. Биомасса бентоса в самой бухте находится практически на нуле, но в более отдаленных районах, где донные отложения представлены илистыми песками, в которых не происходит значительного накопления микроэлементов, биомасса бентонтов возрастает до 0,06 г/м<sup>2</sup>. В районе, где содержание тяжелых металлов снижается до 0,85...1,15 г/кг, биомасса бентосных организмов повышается до 0,08...0,14 г/м<sup>2</sup>.

Значительному загрязнению воздушными выбросами подвергается также залив Торангалык. Содержание тяжелых металлов в субстрате ко-

леблется в пределах 0,57...1,42 г/кг, что ведет к выпадению из состава зообентоса некоторых видов. В загрязненных грунтах встречаются только устойчивые к токсикантам мелкие черви – олигохеты с биомассой 0,02 г/м<sup>2</sup>. По мере удаления от литоральной зоны залива наблюдается усиленный водообмен под действием ветровой деятельности, вследствие чего происходит снижение содержания микроэлементов до 0,11 г/кг. Бентофауна пополняется личинками насекомых (хируномиды) и высшими ракообразными (корофииды). Биомасса их составляет 0,24 г/м<sup>2</sup>.

Для данных зон загрязнения характерна тесная отрицательная корреляционная связь с коэффициентом корреляции в пределах -0,76...-0,80. Доминирующими металлами, влияющими на количественное развитие бентонтов, являются медь, цинк и свинец с коэффициентами корреляции -0,70...-0,83. Слабая корреляционная зависимость характерна для кадмия  $r = -0,39...-0,63$ .

В 3-ей и 4-ой зонах, удаленных от источника загрязнения в юго-восточном и западном направлениях, содержание тяжелых металлов в субстрате снижается до 0,08...0,10 г/кг. Донная фауна обогащается еще двумя видовыми группами: червями (полихеты) и двустворчатым моллюском цветная монодакна. Параллельно этому возрастает биомасса бентонтов до 0,80...1,86 г/м<sup>2</sup>. Несмотря на то, что величины биомассы еще невысокие, однако в десятки раз выше, чем на акватории, находящейся в зоне прямого техногенного воздействия. Количественное развитие зообентоса имеет также обратную зависимость от загрязнения биоценозов микроэлементами, но значительно слабее, в связи с чем, коэффициент корреляции варьирует в интервале -0,14...-0,36.

5-ая зона распространяется на запад и на восток от зоны загрязнения. В этих районах оз. Балхаш, не подверженных влиянию промышленного комплекса (при содержании тяжелых металлов в донных отложениях в пределах 0,05...0,10 г/кг), зависимость биомассы бентонтов от загрязнения ослабевает. Коэффициент корреляции снижается до -0,02. В некоторых биотопах (устье р. Иле, зал. Майтан, Бозарал в Западном Балхаше, около о. Ультарахты и Коржун, зал. Майкамыс, Сарыкамыс – в Восточном Балхаше) наблюдается даже слабая положительная корреляционная связь с коэффициентами +0,40...+0,53.

Доминирующим фактором в формировании биомассы бентосных организмов в незагрязненных районах водоема выступает гранулометрический состав донных отложений. На обедненных песчаных биотопах с

содержанием органики 10...30 г/кг, обитают полихеты и корофииды с низкой биомассой в пределах 0,38 г/м<sup>2</sup>. На илистых субстратах вдоль южного побережья Западного Балхаша, с высоким содержанием органики 50...90 г/кг, формируется богатая кормовая база. На этих биотопах отмечается массовое развитие моллюска монодакна с биомассой 25,28 г/м<sup>2</sup>, а также мизид и креветок с биомассой 3,0...4,2 г/м<sup>2</sup> (рис. 3).

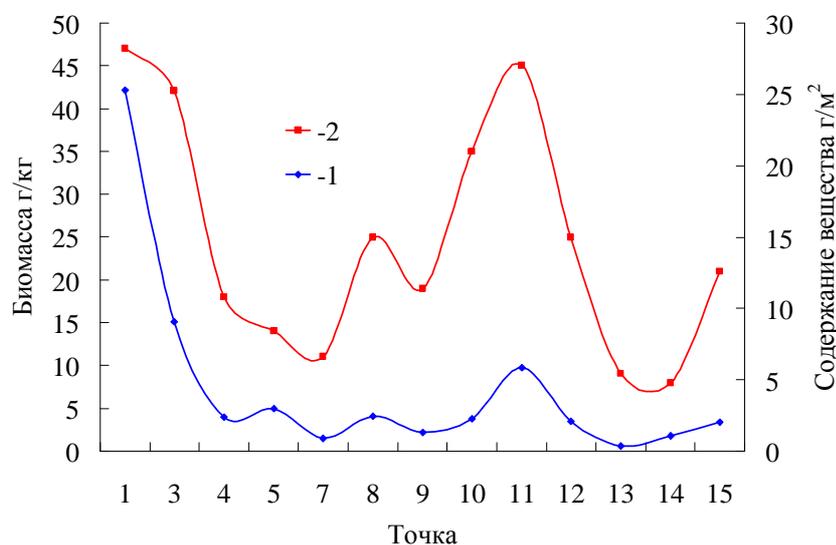


Рис. 3. Зависимость биомассы (2) зообентоса от содержания в грунте органического вещества (1).

Таким образом, видовой состав и количественное развитие бентофауны оз. Балхаш зависят как от воздействия промышленного загрязнения биотопов тяжелыми металлами, так и от естественного состояния биоценозов, а именно гранулометрического состава грунтов и наличия органики в них.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анурьева А.Н., Воробьева Н.Б. Влияние тяжелых металлов на количественное развитие макрозообентоса оз. Балхаш в зоне действия выбросов ПО «Балхашцветмет» // Проблемы биогеохимии и геохимическая экология. – Семей: Тенгри, 2012. – № 2 (19). – С. 44-50.
2. Асылбекова С.Ж., Искеков К.Б., Лопарёва Т.Я., Анурьева А.Н. Влияние воздушных выбросов промышленного комплекса ПО «Балхашцветмет» на биоценозы озера Балхаш // Вестн. Астрахан. гос. техн. унта. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 7-14.

3. Асылбекова С.Ж., Лопарева Т.Я., Воробьева Н.Б., Анурьева А.Н., Садырбаева Н.Н., Пономарева Л.П. Влияние техногенного загрязнения на эколого-биологическое состояние оз. Балхаш // Науч. тр. Южно-Казахстан. гос. ун-та им. М. Ауэзова. – 2010. – № 3 (21). – С. 20-26.
4. Воробьева Н.Б. Влияние антропогенных факторов на кормовую базу оз. Балхаш // 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.
5. Крупа Е.Г., Цой В.Н., Лопарёва Т.Я., Пономарёва Л.П., Анурьева А.Н., Садырбаева Н.Н., Асылбекова С.Ж., Исбеков К.Б. Многолетняя динамика гидробионтов озера Балхаш и ее связь с факторами среды // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 85-95.
6. Методическое пособие при гидробиологических исследованиях водоемов Казахстана (планктон, зообентос). – Алматы, 2006. – 27 с.
7. Спектрометрическое определение тяжелых металлов в объектах окружающей среды, пищевых продуктах и биологических материалах (Методические указания). – Алматы, 1999. – 41 с.

Поступила 25.05.2015

А.Н. Анурьева  
 Геогр. ғылымд. канд. Т.Я. Лопарева

### **БАЛҚАШ КӨЛІНІҢ МИКРОЭЛЕМЕНТТЕРМЕН БИОТТАРДЫҢ ЗАЛАЛДАНУЫНДАҒЫ ОРГАНИЗМДЕРДІҢ БИОМАССАСЫНЫҢ КОРРЕЛЯЦИОНДЫ ТӘУЕЛДІЛІГІ**

#### **Хаттама 1. Түптің микроэлементтермен залалдануы сандық өсімге бентосты одақтың әсері**

*Мақалада ұсынылып отырған мәліметтер Балқаш көлінің бентосты биомассаға корреляционды тәуелділігі және субстратты ауыр металдардан залалдануы туралы ақпаратталады. Зерттеу нәтижелері бойынша көрсеткендей, бентофаунаың сапалы құрамы мен сандық өсімінің жетілуі антропогенді биотоптар мен микроэлементтерге және биоценоздың жағдайына тәуелді (гранулометриялық грунттың құрамымен оның органикасы)*

УДК 333.93(510)

Канд. экон. наук  
Доктор техн. наук

К.Ж. Мустафаев\*  
З.К. Маймеков\*\*

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БАССЕЙНОВ КАЗАХСТАНА**

*МЕТОД, КРИТЕРИЙ, СИСТЕМА, ПРИРОДА*

*Для расчета индекса экологической емкости водохозяйственных бассейнов Казахстана осуществлен выбор системы интегральных критериев и на основе их определена степень антропогенной нагрузки природной системы региона.*

Емкость водных объектов (ЕВО) – показатель, определяющий уровень максимального развития сельского хозяйства, промышленности, городов и населения. Емкости должны быть обеспечены водными ресурсами в данном водохозяйственном бассейне при определенных экономических и технологических обстоятельствах без нарушения экологической системы [1].

Территория Казахстана условно разделена на восемь водохозяйственных бассейнов: Арало-Сырдаринский, Балхаш-Алакольский, Ертисский, Жайык-Каспийский, Есильский, Нура-Сарысуский, Шу-Таласский и Тобол-Тургайский (рис.).



*Рис. Карта основных водохозяйственных бассейнов Казахстана.*

\* ТОО «НТО Гидротехника и мелиорация»,  
\*\* Кыргызско-Турецкий университет «Манас»

Водохозяйственные балансы речных бассейнов позволяют оценить приходную часть, складывающуюся из поступления объемов воды с сопредельных территорий и формирующихся на территории Казахстана и расходную часть – потери на испарение и фильтрацию, санитарные и природоохранные попуски. Также позволяют оценить располагаемые для нужд отраслей экономики водные ресурсы бассейна (табл. 1).

Таблица 1  
Водохозяйственный баланс речных бассейнов Казахстана (км<sup>3</sup>) [1]

Водохозяйственный бассейн	Водохозяйственный баланс				Располагаемые ресурсы
	приходная часть		расходная часть		
	поступление с сопредельных территорий	формируется в пределах бассейна	потери на испарение и фильтрацию	санитарные и экологические попуски	
Арало-Сырдарьинский	14,60	2,30	2,80	3,10	12,00
Балхаш-Алакольский	11,40	16,40	2,30	19,90	8,60
Ертисский	9,80	26,0	6,80	13,10	15,90
Жайык-Каспийский	2,50	4,90	2,50	17,90	5,90
Есильский	-	2,20	0,50	0,80	0,90
Нура-Сарысуский	0,82	1,74	0,37	1,02	1,16
Шу-Таласский	3,10	1,00	0,10	0,30	3,70
Тобол-Тургайский	0,056	1,53	0,26	0,63	0,70
Республики Казахстан	42,276	57,87	15,63	58,75	46,86

Как видим 42,276 км<sup>3</sup> воды поступают с сопредельных территорий и 57,87 км<sup>3</sup> воды формируются в пределах бассейна, что характеризует зависимость водообеспеченности Казахстана от государств Центральной Азии.

Для комплексной оценки емкости водных объектов Республики Казахстан можно использовать принципы теории систем, т.е. их необходимо рассматривать как сложную систему, включающую в себя четыре подсистемы – общество, экономику, экологию и водные ресурсы. На основе синтеза статистики и теоретического анализа определены показатели емкости водных объектов и их подсистем (табл. 2), т.е. для этого использованы параметры или индикаторы оценки изменений свойств природной системы [8], параметры оценка устойчивости природных комплексов в бассейне [2, 5, 6, 7, 10] и система показателей емкости водных объектов [3].

Стандартизация информационных материалов осуществлялась через индексацию статистических материалов и преобразование их в безразмерные величины [3]:

Таблица 2

Система показателей емкости водохозяйственных объектов [9]

Показатель	Описание показателя
<b>Показатели системы водных ресурсов</b>	
Площадь ( $F$ ) ( $10^4$ га)	Данные измерения
Количество водных ресурсов на единицу площади ( $\bar{W}_p = W_p / F$ ), ( $10^4$ м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> )	$W_p$ – среднее многолетнее количество используемых водных ресурсов в водохозяйственном бассейне
Использование водных ресурсов ( $\bar{W}_n = W_n / (W_p - W_э)$ ), (%)	$W_n$ – среднее многолетнее потребление воды в водохозяйственном бассейне; $W_э$ – потребление воды в экологических целях
Комплексный показатель качества воды $\bar{W}_{pz} = (W_{pz} / W_p) 100$ , (%)	$W_{pz} = W_э - W_{нэ}$ – общий объем воды, отвечающий экологическим требованиям; $W_{нэ}$ – объем воды, не отвечающий экологическим требованиям
Общий объем водных ресурсов ( $WBB$ ) ( $10^8$ м <sup>3</sup> )	Статистические данные
Годовые осадки ( $WO_c$ ) ( $10^8$ м <sup>3</sup> )	Статистические данные
Модули водоснабжения $\bar{W}_f = W_n / F$ , ( $10^4$ м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> )	
Модули поступления воды $\bar{W}_{no} = W_{no} / F$ ( $10^4$ м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> )	$W_{no}$ – общее количество поступления воды.
<b>Показатели социальной системы</b>	
Плотность населения $\bar{N} = N / F$ (чел/га <sup>-1</sup> )	$N$ – общая численность населения, чел.
Естественный прирост населения по водохозяйственным бассейнам (%)	Отношение чистого годового прироста населения к среднегодовой численности населения
Доля городского населения $\bar{N}_г = N_г / N$ , (%)	$N_г$ – городское население

Показатель	Описание показателя
<p>Достижение нормативной ставки очищенных бытовых сточных вод</p> $\overline{W}_{\text{бс}} = \left( \frac{W_{\text{обс}}}{W_{\text{бс}}} \right) \cdot 100, (\%)$ <p>Квота хозяйственной воды</p> $W_{\text{кxb}} = W_{\text{xb}} / N \cdot 365, (\text{м}^3/\text{день на 1 чел.})$	<p><math>W_{\text{обс}}</math> – общее количество очищенных бытовых сточных вод;</p> <p><math>W_{\text{бс}}</math> – общее количество сброса бытовых сточных вод</p> <p><math>W_{\text{кxb}}</math> – хозяйственное водопотребление</p>
Сельское население ( $N_c$ ) ( $10^4$ чел.)	Статистические данные
Нагрузка водного объекта (водотока) загрязненными сточными водами ( $K_b = q_b / W$ )	<p><math>K_b</math> – коэффициент нагрузки;</p> <p><math>q_b</math> – суммарный объем загрязненных сточных вод, в водотоке, тыс. <math>\text{м}^3/\text{год}</math>; <math>W</math> – среднегодовой сток реки, тыс. <math>\text{м}^3/\text{год}</math>.</p>
<p>Коэффициент нагрузки загрязненными сточными водами (<math>K_{\sigma}</math>) на <math>j</math>-й водоток, входящий в состав подбассейна <math>j = 1, m</math>,</p> $K_{\sigma} = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot K_{bj} / \sum_{j=1}^m \alpha_j$	<p><math>m</math> – число водотоков в подбассейне; <math>\alpha_j</math> – весовой коэффициент <math>j</math>-го водотока, который равен величине обратной площади подбассейна – <math>\alpha_j = 1/F_j</math>, <math>F_j</math> – площадь подбассейна <math>j</math>-го водотока</p>
<b>Показатели экономической системы</b>	
<p>ВВП на душу населения</p> $\overline{ВВП} = ВВП / N$	$ВВГ$ – текущий региональный ВВП
Темпы роста ВВП (%)	Статистика из статистических ежегодников каждого водохозяйственного бассейна
<p>Квота производственного водопотребления <math>W_{\text{кnb}} = W_{\text{nb}} / ВВП_n, (10^4, \text{м}^3)</math></p>	$W_{\text{nb}}$ – производственное водопотребление; $ВВП_n$ – значение валовой продукции промышленности
<p>Квота сельскохозяйственного водопотребления <math>W_{\text{кcc}} = W_{\text{cb}} / ВВП_c, (10^4, \text{м}^3)</math></p>	$W_{\text{cb}}$ – сельскохозяйственное потребление воды; $ВВП_c$ – значение валовой продукции сельского хозяйства

Показатель	Описание показателя
Коэффициент охвата орошением $K_{oo} = \left( \frac{F_{of}}{F_{ob}} \right) \cdot 100, (\%)$	$F_{of}$ – фактическая орошаемая площадь; $F_{ob}$ – возделываемая посевная площадь
Квота воды для орошения $\bar{W}_{op} = W_{no} / F_{of}, (\text{м}^3, \text{га}^{-1})$	$W_{no}$ – потребление воды для орошения
Достижение нормативной ставки очищенных промышленных и городских сточных вод $\bar{W}_{nzc} = \left( \frac{W_{nzc}}{W_{ob}} \right) \cdot 100, (\%)$	$W_{nzc}$ – общее количество очищенных промышленных сточных вод; $W_{ob}$ – общий объем потребления воды
<b>Показатели экологической системы</b>	
Норма экологического водопотребления $\bar{W}_э = \left( \frac{W_э}{W_{zb}} \right) \cdot 100, (\%)$	$W_э$ – экологическое водопотребление; $W_{zb}$ – среднегодовые водные ресурсы
Комплексный показатель загрязнения воды $\bar{W}_з = \left( \frac{W_з}{W_{ob}} \right) \cdot 100, (\%)$	$W_з$ – общий объем загрязненных вод; $W_{ob}$ – общий объем водных ресурсов
Залесенность $\bar{F}_л = \left( \frac{F_л}{F_{об}} \right) \cdot 100, (\%)$	$F_л$ – площадь лесов; $F_{об}$ – общая площадь водохозяйственного бассейна
Доля заболоченных земель $\bar{F}_{зб} = \left( \frac{F_{зб}}{F_{об}} \right) \cdot 100, (\%)$	$F_{зб}$ – площадь заболоченных земель
Выбросы ХПК ( $10^4$ , т)	Статистические данные
Доля опустынивания $\bar{F}_{он} = \left( \frac{F_{он}}{F_{об}} \right) \cdot 100, (\%)$	$F_{он}$ – площадь опустынивания
Доля просадки грунта $\bar{F}_{нз} = \left( \frac{F_{нз}}{F_{об}} \right) \cdot 100, (\%)$	$F_{нз}$ – площадь просадки грунта

Показатель	Описание показателя
<b>Показатели комплексной связи</b>	
Индекс баланса водоснабжения и водопотребления $\bar{W}_{cb} = \left( \frac{W_{cb}}{W_p} \right) \cdot 100, (\%)$	$W_{cb}$ – среднее многолетнее водопотребление
Норма водопотребления $\bar{W}_b = \left( \frac{W_b}{W_{b\delta}} \right) \cdot 100, (\%)$	$W_b$ – водопотребление; $W_{b\delta}$ – общее водопотребление водохозяйственного бассейна
Общее водопотребление ( $W_{ob}$ ), ( $10^8, \text{м}^3$ ) Пашня на душу населения $\bar{F}_{bn} = F_{bn} / N, (\text{га} \cdot \text{чел}^{-1})$	Статистические данные  $F_{bn}$ – возделываемая посевная площадь
<b>Показатели связи водных ресурсов и экономической системы</b>	
Водопотребление на единицу ВВП $\bar{W}_{веп} = ВВП / W_b, (\text{м}^3)$	$ВВП$ – текущий региональный ВВП
Объем загрязненных вод на миллион выпускаемого ВВП $\bar{W}_{oze} = W_{oze} / ВВП, (10^{-4}, \text{м}^3)$	$W_{oze}$ – объем загрязненной воды
<b>Показатели связи водных ресурсов и экологической системы</b>	
Коэффициент превышения лимита воды $\bar{W}_{nze} = \left( \frac{W_{nze}}{W_{онzn}} \right) \cdot 100, (\%)$	$W_{nze}$ – объем чрезмерной эксплуатации ресурсов подземных вод; $W_{онzn}$ – общий объем ресурсов подземных вод
Коэффициент дефицита воды $\bar{W}_{odb} = \left( \frac{W_{odb}}{W_{ob}} \right) \cdot 100, (\%)$	$W_{odb}$ – общий объем дефицита воды в окружающей среде, $W_{ob}$ – общий объем водных ресурсов
<b>Показатели экологической ситуации</b>	
Экологическое состояние речных бассейнов $\bar{\Xi}_k = 1 - \exp[-(\alpha_o \cdot \bar{g} + \rho \cdot \bar{\Delta})]$	$\alpha_o$ – коэффициент, характеризующий вид загрязнения (ядохимикаты, нитраты и пестициды); $\bar{g}$ – изменение водообмена между почвенными и грунтовыми водами; $\rho$ – параметр, комплекс при-

Показатель	Описание показателя
	родных условий (мощность отложений и фильтрационные свойства); $\bar{\Delta} = \Delta / 5$ – уровень грунтовых вод

$$X_{ij}^* = (X_{ij} - \bar{X}_j) / \sigma_j, \quad \bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_i X_{ij}, \quad \sigma_j^2 = \frac{1}{n} \sum_i (X_{ij} - \bar{X}_j)^2,$$

где  $X_{ij}$  – первоначальные значения показателей емкости водных объектов,  $X_{ij}^*$  – стандартизированная величина показателей емкости водных объектов.

Для определения региональной емкости водных объектов Лю Цзяцзюнь, Дун Сочэн, Мао Цилян [3] предлагают следующее уравнение:

$$CW = \sqrt{CHICCI(\alpha \cdot FI + \beta \cdot F_p I)},$$

где  $CW$  – итоговый комплексный

показатель региональной емкости водных объектов;  $F_e I$  и  $F_p I$  – индексы региональной экономической и демографической нагрузок на водные ресурсы;  $CCI$  – емкость комплексной системы региональных водных объектов;  $CHI$  – интегральный индекс для комплексной системы региональных водных ресурсов;  $\alpha$ ,  $\beta$  – неопределенные «весы», а «вес»  $F_e I$  приравнивается к  $F_p I$ .

Уравнение для расчета индекса региональной экономической нагрузки на водные ресурсы ( $F_e I$ ) определяется по формуле [3]:

$$F_e I = \frac{F_e}{GDP_e}, \quad F_e = \frac{ПВЗ}{W_d} \cdot W_s,$$

где  $F_e$  – величина максимально допустимой нагрузки на региональные водные ресурсы;  $W_d$  – минимальное количество воды, в котором нуждается региональная социально-экономическая система;  $W_s$  – максимальное количество имеющихся в регионе водных ресурсов;  $GDP$  – внутренний валовой продукт (ВВП) при потреблении воды в объеме  $W_d$ ;  $GDP_e$  – фактический валовой внутренний продукт.

Уравнение для расчета индекса региональной демографической нагрузки на водные ресурсы  $F_p I$  [3]:

$$F_p I = \frac{F_p}{P_c}, \quad F_p = \frac{GDP}{GDP_{p_s}},$$

где  $F_p$  – численность населения, которая возможна в регионе при условии, что все годные к применению водные ресурсы используются в производстве, т.е. максимальная численность населения, которая может быть обеспечена водными ресурсами в конкретном регионе;  $GDP_{p_s}$  – самый низкий ВВП на душу населения всех провинций;  $P_c$  – численность населения.

Уравнение для расчета индекса нагрузки для комплексной системы региональных водных объектов  $CCI$  [4]:

$$CCI = \frac{CCP}{CCS},$$

где  $CCI$  – нагрузка, которую фактически имеет вся система водных объектов;  $CCS$  – нагрузка, которую может выдержать система водных объектов.

Лю Цзяцзюньом, Дун Сочэном, Мао Циляном [3] выбраны показатели для вычисления индекса нагрузки  $C_1$ , которую может допустить система водных ресурсов, а также для социальной системы  $C_2$ , экономической системы  $C_3$  и экосистемы  $C_4$ . В целях устойчивого развития общества и экономики необходимо, чтобы совокупная нагрузка на водные ресурсы не превышала допустимую нагрузку, т.е.  $CCI \leq 1$ .

При расчете  $CCI$  «вес» каждого показателя комплексной системы был определен на основе энтропийного подхода – путем фиксации значения «веса» на основные, реальные состояния общества, экономики, экологии и водных ресурсов, т.е. объективно [3].

Для интегральной системы экономики, общества, экологии и водных ресурсов степень упорядоченности для подсистемы водных ресурсов, экологии и экономики определена как  $\bar{u}_k(\bar{e}_k)$ ,  $k = 1, 2, 3, 4$ , что является средним многолетним годовым значением для каждого региона. В итоге уравнение интегрального индекса принимает следующий вид в конкретный момент времени эволюционного процесса для очень сложной системы [3]:

$$CHI_{t(r)} = \theta \cdot \sqrt[4]{\prod_{k=1}^4 [u_k(e_k) - \bar{u}_k(\bar{e}_k)]}, \quad CHI_{t(r)} \in [-1, 1],$$

$$\theta = \frac{\min_k [u_k(e_k) - \bar{u}_k(\bar{e}_k) \neq 0]}{\min_k [u_k(e_k) - \bar{u}_k(\bar{e}_k) \neq 0]}, \quad k = 1, 2, 3, 4.$$

Значения нормативов итогового комплексного показателя региональных емкостей водных объектов приведены в табл. 3 [3].

В качестве исходных данных для модели комплексной оценки емкости водных объектов Республики Казахстан взята соответствующая стандартизированная статистика за 2007 г. по восьми водохозяйственным бассейнам и 14 областям. Результаты демонстративных расчетов приведены в табл. 4, которые показывают пространственные закономерности дифференциации этих характеристик.

Индекс региональной экономической нагрузки на водные ресурсы ( $F_e I$ ) показывает, что чем больше его значения, тем больше нагрузки экономического развития несет регион. Как показано в табл. 4,  $F_e I < 0,30$  отмечено во всех водохозяйственных бассейнах Казахстана, т.е. имеется большой потенциал для поддержки регионального и республиканского экономического развития. С другой стороны, это свидетельствует о том, что во всех водохозяйственных бассейнах Казахстана водные ресурсы недостаточно эффективно использовались.

Таблица 3

Нормативы комплексного показателя региональных емкостей водных объектов [3]

Индекс $CW$	Категория нагрузки	Возможность использования
0,00...0,50	Минимальная	Водные ресурсы в избытке
0,51...0,80	Оптимальная	Оптимальное использование водных ресурсов
0,81...1,00	Повышенная	Затрудненное использование водных ресурсов
1,01...1,30	Высокая	Нехватка водных ресурсов
> 1,31	Сверхвысокая	Острая нехватка водных ресурсов

Индекс региональной демографической нагрузки на водные ресурсы показывает, если  $F_p I > 0,90$ , т.е. наблюдается большая численность населения и недостаток воды в бассейне. К этому диапазону относится Жайык-Каспийский водохозяйственный бассейн, который может обеспечиваться региональными водными ресурсами. Диапазон  $F_p I$  от 0,30 до 0,70 характерен для Есильского водохозяйственного бассейна, где водные ресурсы обеспечивают существующую численность населения. В осталь-

ных водохозяйственных бассейнах Казахстана  $F_p I < 0,30$ , это указывает на то, что региональные водные ресурсы могут полностью обеспечить относительно невысокую численность населения.

Таблица 4

Оценка емкости водных объектов водохозяйственных бассейнов  
Республики Казахстан

Водохозяйственный бассейн	Показатели емкости водных объектов				
	$F_e I$	$F_p I$	$CCI$	$CHI$	$CW$
Арало-Сырдарьинский	0,059	0,175	1,236	0,290	0,287
Балхаш-Алакольский	0,001	0,179	5,020	0,029	0,162
Ертисский	0,010	0,283	6,010	0,068	0,346
Жайык-Каспийский	0,062	1,349	2,936	0,030	0,352
Есильский	0,003	0,412	6,780	0,030	0,304
Нура-Сарысуский	0,059	0,165	0,515	0,305	0,188
Шу-Таласский	0,084	0,203	0,319	0,324	0,172
Тобол-Тургайский	0,012	0,376	7,572	0,016	0,217
Республика Казахстан	0,036	0,393	3,799	0,137	0,321

Индекс комплексной системы региональных водных ресурсов характеризует нагрузку, которую несет объединенная система общества, экономики, экосистемы и региональных водных ресурсов. Как видим из данных табл. 4, индекс  $CCI < 2,0$  наблюдается в Арало-Сырдарьинском, Нура-Сарысуском и Шу-Таласском водохозяйственных бассейнах. Это указывает на то, что региональные водные ресурсы не несут никакой существенной экономической и социальной нагрузки.  $CCI$  от 2,0 до 4,0 отмечен в Жайык-Каспийском водохозяйственном бассейне, где нагрузки на водные ресурсы относительно велики.  $CCI > 4,0$  характерен для Балхаш-Алакольского, Ертисского, Есильского и Тобол-Тургайского водохозяйственных бассейнов, где совместная экономическая и социальная нагрузка слишком велика для местных водных ресурсов.

Интегральный индекс для общей системы общества, экономики, экологии и региональных водных ресурсов показывает, что чем больше  $CHI$ , тем лучше организована система, т.е. водные ресурсы используются более эффективно. Если  $CHI < 0,25$ , тогда такие регионы, куда относятся Балхаш-Алакольский, Ертисский, Жайык-Каспийский, Есильский и Тобол-Тургайский бассейны не были согласованы с наличием водных ресурсов. Для Арало-Сырдарьинского, Нуры-Сарысуского и Шу-Таласского водохозяйст-

венных бассейнов  $CNI$  изменяется в диапазоне от 0,25 до 0,35, это показывает, что водные ресурсы не препятствуют росту экономики.

Если комплексный индекс емкости водных объектов  $CW < 0,50$ , то это говорит о том, что регионы имеют обильные водные ресурсы, куда относятся все водохозяйственные бассейны Казахстана.

Таким образом, на основе многокритериальной оценки выявлены основные факторы, которые влияют на водные ресурсы и определены уровни их использования для каждого водохозяйственного бассейна Республики Казахстан в настоящем и будущем. Как показали расчеты, в водохозяйственных бассейнах Казахстана размещение населения и разный уровень экономики не соответствуют пространственно-временному распределению водных ресурсов. Расширение источников воды и сокращение ее расхода является единственным способом увеличения пределов емкости водных объектов и допустимой нагрузки на водные ресурсы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии (обзор). – Алматы, 2004. – 132 с.
2. Заурбек А.К., Мустафаев Ж.С., Заурбекова Ж.А., Мустафаев К.Ж. К количественной оценке устойчивости природных комплексов в бассейнах рек // Наука и образования Южного Казахстана. – 2000. – №11 (18). – С. 60-64.
3. Лю Цзяцзюнь, Дун Сочэн, Мао Цилян. Комплексная оценка емкости водных объектов Китая // География и природные ресурсы. – 2012. – №1. – С. 138-145.
4. Мустафаев Ж.С. Методологические основы экологической оценки ёмкости природных систем. – Тараз: 2014. – 316 с.
5. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Ешмаханов М.К., Мустафаев К.Ж. Математико-географическое моделирование устойчивости природной системы / Методологические и экологические принципы мелиорации сельскохозяйственных земель. – Тараз: 2004. – С. 273-286.
6. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Ешмаханов М.К., Мустафаев К.Ж. Математико-географическое моделирование устойчивости природной системы // Поиск. – 2004. – №4. – С. 126-133.
7. Мустафаев Ж.С., Мустафаев К.Ж. К вопросу моделирования устойчивости природной системы / Научные исследования в мелиорации и водном хозяйстве // Сборник научных трудов КазНИИВХ – Тараз: НЦ «Аква», 2002. – Т. 39. – Вып. 2. – С. 104-110.

8. Мустафаев Ж.С., Мустафаев К.Ж., Ешмаханов М.К. Проблемы гидро-экологии: количественная оценка состояния и устойчивости ландшафта. – Тараз: 2010. – 135 с.
9. Мустафаев К.Ж. Методологические основы нормирования природопользования и природообустройства // Водное хозяйство Казахстана. – 2012. – № 4-5 (42-43). – С. 33-39.
10. Мустафаев К.Ж., Ешмаханов М.К. Моделирование экологической устойчивости природной системы / Природопользование и проблемы антропосферы // Вестник ТарГУ им. М.Х. Дулати. – 2001. – №4 (4). – С. 89-94.

Поступила 31.03.2015

Экон. ғылымд. канд.            Қ.Ж. Мұстафаев  
Техн. ғылымд. докторы        З.К. Маймеков

### **ҚАЗАҚСТАННЫҢ СУШАРУАШЫЛЫҚ АЛАБТАРЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ СИЫМДЫЛЫҒЫН КЕШЕНДІ БАҚАЛАУ**

*Қазақстанның сушаруашылық алабтарының экологиялық сиймдылығын есептеуге арналған бегісін таңдау үшін интегральдық сынақтық көрсеткішер таңдалынып алынған және оның негізінде аймақтың табиғи жүйесіне түсетін техникалық қысымның дәрежесі анықталған.*