

УДК 556.11:639.3

*О.А. Шарипова*

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА БАЛХАШ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Представлены результаты исследований уровня загрязнения донных отложений оз. Балхаш тяжелыми металлами в пространственно-временной динамике. Распределение металлов в донных осадках по акватории озера неравномерное. Отмечено, что среднее содержание меди, цинка, свинца в донных осадках отдельных районов выше, чем в фоновых районах Прибалхашья. Комплекс природных и техногенных факторов, характеристик донных осадков определяет возникновение локальных зон повышенного содержания микроэлементов. В многолетнем аспекте отмечена тенденция к снижению содержания тяжелых металлов в связи с ослаблением антропогенной нагрузки на экосистему озера.

**Ключевые слова:** донные отложения; тяжелые металлы; загрязнение; органическое вещество.

### Введение

Озеро Балхаш относится к категории рыбохозяйственных водных объектов, имеющих нерестилища и площади массового нагула ценных видов рыб, и, наряду с другими крупными водоемами, составляет основу рыбного хозяйства Казахстана. Кроме того, оз. Балхаш имеет комплексное назначение, используется для питьевого, бытового, промышленного водоснабжения, судоходства и рекреации, чем обусловлена необходимость повышенного внимания к экологическому состоянию водоема.

Бассейн оз. Балхаш находится в техногенной зоне, поэтому формирование микроэлементного состава воды и донных отложений происходит под общим влиянием как природных, так и антропогенных факторов. Концентрация и распределение микроэлементов по акватории озера определяются поступлением их с речным стоком, со сточными водами и выбросами промышленных предприятий, а также подземным питанием и влиянием полиметаллических месторождений Прибалхашья.

При оценке экологического состояния водного объекта актуальным является изучение донных отложений. Следует отметить, что если уровень загрязнения воды может быстро изменяться в зависимости от антропогенной нагрузки и гидродинамических процессов, то донные отложения более инертны по своим характеристикам. Будучи депонирующей средой, они удерживают на длительный срок загрязняющие вещества и выступают в роли индикатора техногенного загрязнения.

Донные отложения благодаря своей поглощающей способности играют исключительную роль в процессах самоочищения водоема. Однако они могут вызывать вторичное загрязнение водной среды. Этому способствуют ветровое перемешивание, вовлекающее верхний слой донных отложений в водную массу; диффузия, сорбция и десорбция, комплексообразование, ионный обмен и растворение, физико-химические, биологические и микробиологические процессы на границе вода – донные отложения.

Донные отложения являются средой обитания бентосных организмов, живущих в поверхностном слое грунта или его толще, а также в придонных слоях воды. Высокое содержание токсикантов в донных осадках может привести к существенным изменениям

количественного и качественного состава бентосных организмов.

Цель данной работы – определение содержания тяжелых металлов в донных отложениях оз. Балхаш, исследование уровня загрязнения и характеристика пространственного распределения микроэлементов в зависимости от природных и антропогенных факторов.

### Материал и методика исследований

Материалом для данной работы послужили результаты исследований микроэлементного состава донных отложений оз. Балхаш, проведенных с 2003 по 2011 г. В сравнительном анализе использовались фондовые материалы Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства.

Озеро Балхаш простирается с запада на восток на 600 км, занимая площадь при современном уровне режиме 20 700 км<sup>2</sup>. Резким сужением котловины озера и подводным порогом у полуострова Сарыисек оно делится на две части – западную и восточную, сильно различающиеся по морфометрическим, гидрофизическим и гидрохимическим характеристикам. Средняя ширина в Западном Балхаше составляет 36 км с максимумом 70 км, в Восточном – 24 км, достигая максимального значения 47,5 км. Средняя глубина в западной части озера соответствует 4,6 м, максимальная величина – 11 м. В восточной части средняя глубина составляет 7,6 м, максимальные значения в отдельных районах достигают 26,5 м. Характерной особенностью оз. Балхаш является большое различие солёности воды. Минерализация в юго-западной части озера представлена значениями 0,8–1,0 г/дм<sup>3</sup>, постепенно повышаясь, достигает в восточной оконечности максимальных величин – 5,0–5,2 г/дм<sup>3</sup>. В связи с этим по качественному составу воды акватория оз. Балхаш условно разделена на восемь гидрохимических районов (рис. 1).

Донные отложения были отобраны во всех гидрохимических районах. Сбор и обработка проводились по методическим руководствам [1]. В качестве мониторинга в донных отложениях в многолетнем аспекте исследовались следующие металлы: медь, цинк, свинец, кадмий. Содержание валовых форм металлов определялось атомно-абсорбционным методом.

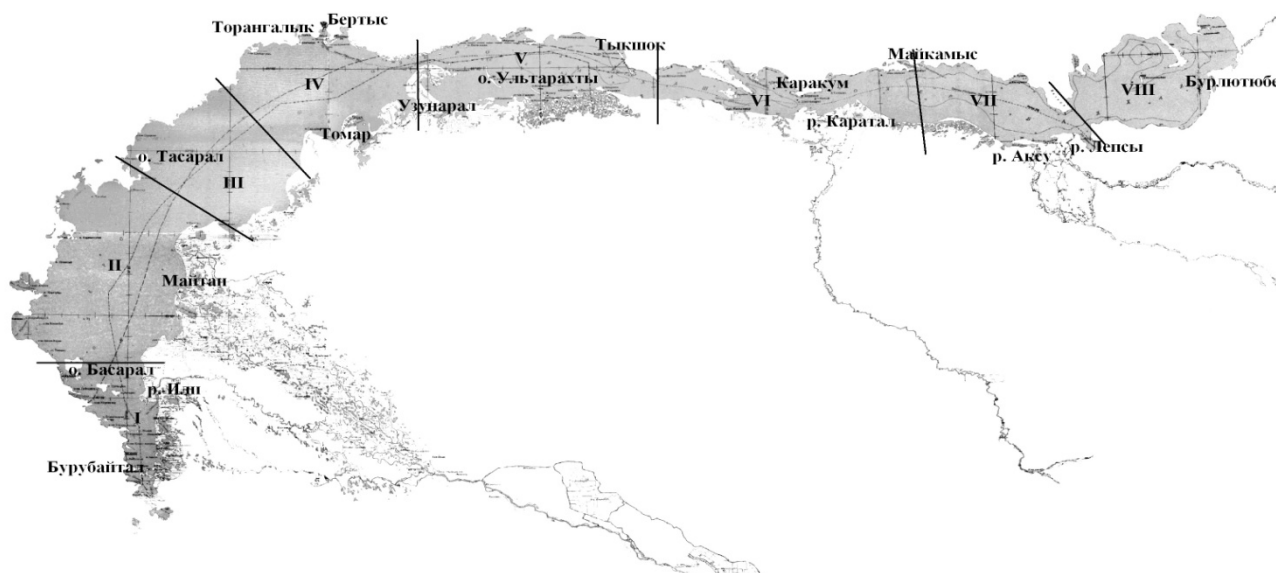


Рис. 1. Схематическая карта гидрохимических районов оз. Балхаш

### Результаты и их обсуждение

Анализ результатов собственных исследований и фондовых материалов выявил ряд особенностей в

формировании химического состава донных отложений оз. Балхаш, которые и рассматриваются в данной работе. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях оз. Балхаш представлено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание металлов в донных отложениях оз. Балхаш за 2003–2011 гг. (средние значения), мг/кг

Гидрохимический район	Медь		Цинк		Свинец		Кадмий	
	2003–2007 гг.	2008–2011 гг.	2003–2007 гг.	2008–2011 гг.	2003–2007 гг.	2008–2011 гг.	2003–2007 гг.	2008–2011 гг.
I	20,3	39,1	20,6	24,9	22,2	32,3	1,08	0,65
II	43,1	28,9	27,7	17,7	26,5	25,6	1,33	0,85
III	42,9	30,6	22,9	21,3	33,3	20,7	1,42	0,94
IV	211	144	67,2	62,5	124	102	1,76	1,22
V	27,6	25,9	25,6	18,1	16,1	11,8	1,09	0,71
VI	24,0	16,7	20,4	13,4	14,0	11,6	1,17	0,73
VII	25,8	30,1	27,4	22,2	26,7	20,5	1,34	0,84
VIII	25,9	23,8	14,3	16,5	21,3	19,3	1,05	0,75
Фоновое содержание в серобурых почвах Прибалхашья	30,0		45,0		20,0		2,0	

В настоящее время не существует ПДК для содержания тяжелых металлов в донных отложениях. Поэтому сравнительный анализ проводится с кларками или с фоновыми значениями в почвах региона [2, 3].

Полученные экспериментальные данные показали, что во всех гидрохимических районах по содержанию в донных отложениях лидирует медь. Этот факт говорит о степени изменения почво-грунтов озера по сравнению с почвами Прибалхашья, в которых содержание меди представлено меньшими значениями, чем цинка (меди – 30 мг/кг, цинка – 45 мг/кг). Такое соотношение характерно и для всех известных кларков [4]. В настоящее время концентрация меди в донных осадках по акватории водоема изменяется в пределах 8,4–159 мг/кг. Содержание свинца варьирует в интервале 7,6–138 мг/кг, цинка – 6,3–77,2 мг/кг. В минимальных количествах аккумулируется кадмий – 0,54–1,67 мг/кг. Содержание меди и свинца превышает фоновый уровень практически во всех районах Западного Балхаша и в VII гидрохимическом районе. Накопление цинка происходит в IV районе озера.

Процессы диагенетических преобразований металлов и их перераспределение в донных осадках зависят от гранулометрического и минерального состава осадков, количества органического вещества.

Согласно исследованиям Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства в оз. Балхаш выделены несколько видов грунтов: гравийные осадки, крупно-среднезернистые пески, мелкозернистые пески, крупные алевриты, мелкоалевритовые илы, алеврито-глинистые илы, глинистые илы. Основную часть дна оз. Балхаш (около 10 900 км<sup>2</sup>, 59%) занимают илы (мелкоалевритовые, алеврито-глинистые, глинистые); крупный алеврит охватывает около 3 900 км<sup>2</sup> (19,5%); пески и гравийные осадки распространяются на площади около 5 100 км<sup>2</sup> (25,5%).

По результатам исследований выявлено, что накопление тяжелых металлов в большей степени происходит в мелкодисперсных фракциях – илах, глинах.

Аккумулирующая способность грунтов увеличивается в зависимости от присутствия в них органиче-

ского вещества. Для донных отложений оз. Балхаш характерно относительно невысокое содержание органических веществ. По исследованиям 1971 г., проведенным О. Тленбековым (Казахский НИИ рыбного хозяйства), их количество находится в пределах 0,1–6,0% от массы сухого осадка. По результатам иссле-

дований 2009 г. содержание органических веществ по акватории оз. Балхаш меняется от 0,5 до 6,0%, в количественном отношении составляет 5–60 г/кг.

Накопление токсикантов в донных отложениях оз. Балхаш в зависимости от количества органических веществ наглядно отражает рис. 2.

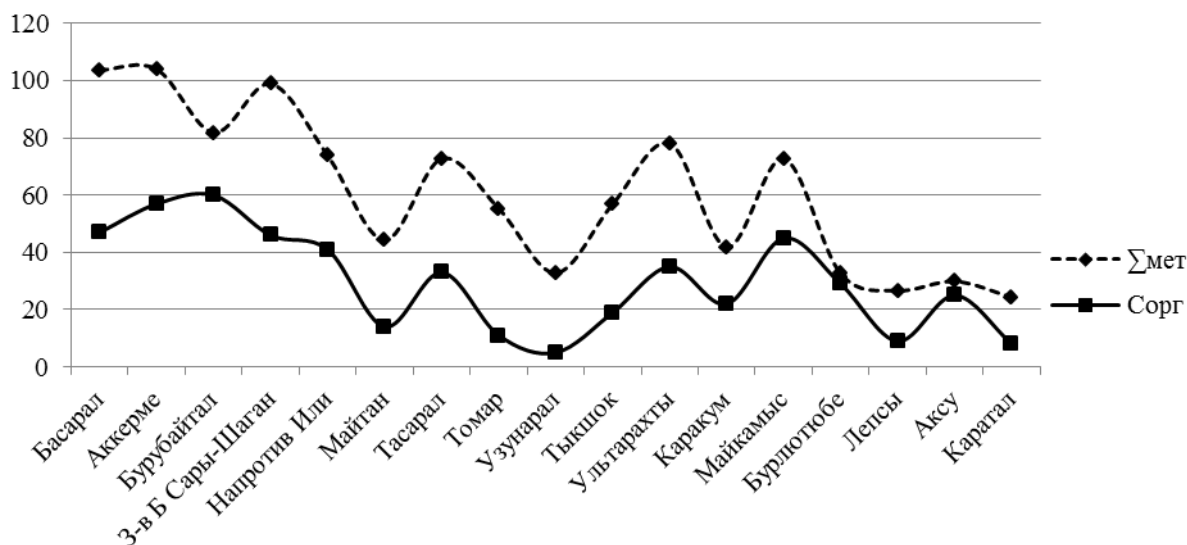


Рис. 2. Зависимость между суммарным содержанием тяжелых металлов (мг/кг) и количеством органического вещества (г/кг) в донных осадках по станциям оз. Балхаш

Если исключить из расчета anomalно высокие значения концентрации тяжелых металлов в донных отложениях бухты Бертыс и залива Торангалык, подверженных антропогенному влиянию промышленных объектов г. Балхаш, получим положительную корреляцию с коэффициентом 0,8 между этими величинами. Их среднеголетние значения дают еще более высокий коэффициент корреляции 0,9. Такая же закономерность отмечается и в научных работах других авторов [5, 6].

Распределение тяжелых металлов в донных отложениях неравномерное и зависит не только от структуры грунта и внутриводоемных процессов, но и от поступления микроэлементов техногенным путем. Расчет коэффициентов аккумуляции [7] металлов в донных отложениях по отношению к почвам Прибалхашья показал, что наибольшей деградации подверглись осадки IV гидрохимического района, в частности бухты Бертыс и залива Торангалык, в которые до 1995 г. непосредственно сбрасывались сточные воды металлургического производства, и на современном этапе продолжается загрязнение твердыми выбросами. Коэффициенты аккумуляции в среднем по району составляют: по меди – 4,8; свинцу – 5,1; цинку – 1,4.

В настоящее время техногенное поступление тяжелых металлов в водную среду озера осуществляется посредством твердых выбросов металлургического комбината, расположенного на северо-западном побережье.

Основным метеорологическим параметром распространения загрязняющих веществ вокруг источни-

ка являются частота и длительность дующего ветра. Согласно розе ветров частота прохождения факела выбросов над поверхностью озера составляет 57–61% от общего [8]. Ореол загрязнения простирается в юго-восточном направлении от источника выбросов. Учитывая технические характеристики выбросов, а также результаты проведенных исследований, на поверхность озера в среднем в течение года осажается 18 102 т меди, 4 836 т цинка, 3 382 т свинца, 0,295 кг кадмия [9].

Анализ распределения микроэлементов в поверхностном слое донных отложений позволил определить локальные зоны загрязнения. К ним относятся бухта Бертыс и залив Торангалык, где многолетнее поступление токсикантов с промышленными сбросами и выбросами привело к метаморфизации качественного состава донных отложений (рис. 3). Так, в бухте Бертыс кратность превышения фонового значения для меди и свинца составляет более 30. Превышение фонового содержания цинка в осадках данного участка достигает 10 раз, кадмия – 5 раз. Аналогичные показатели несколько ниже в заливе Торангалык, что, по-видимому, связано с более интенсивно происходящими водообменными процессами и особенностями гранулометрического состава донных отложений. Концентрация меди превышает фоновый уровень в 8 раз, свинца – в 4, цинка и кадмия – в 2 раза. Общая площадь загрязнения донных отложений медью составляет около 3 453 км<sup>2</sup>, свинцом – около 2 960 км<sup>2</sup>, цинком – 2 513 км<sup>2</sup>, кадмием – 1 447 км<sup>2</sup> [10, 11].

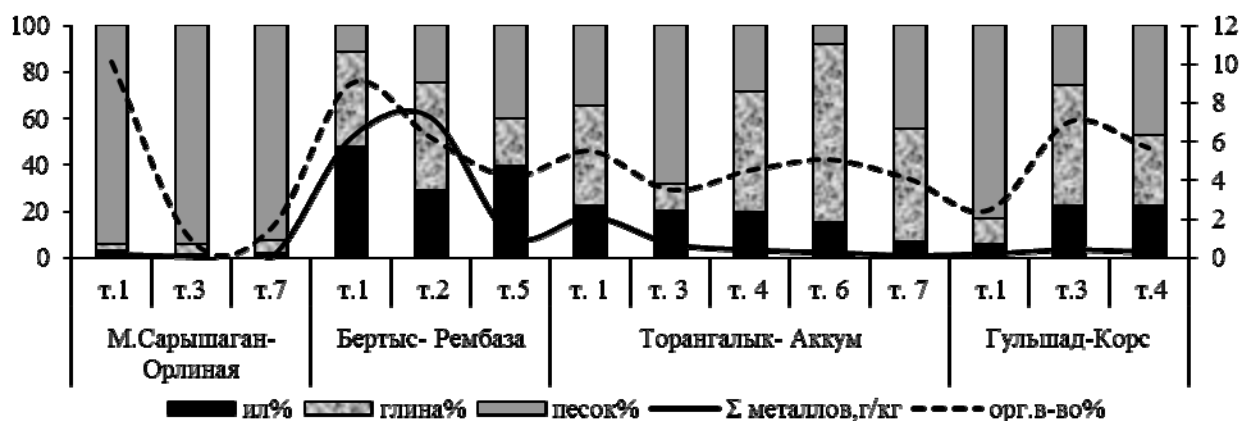


Рис. 3. Зависимость количества металлов и органических веществ в донных отложениях от техногенного загрязнения

Минимальные концентрации тяжелых металлов характерны для донных отложений приустьевых участков рек, что связано с высокой проточностью и песчаным гранулометрическим составом осадков. Содержание меди и свинца лежит в интервале 6,4–9,2 мг/кг, что значительно ниже средних показателей в целом по озеру. Цинк аккумулируется донными осадками в устьях рек в количестве 26,8–32,4 мг/кг.

Анализируя результаты многолетних исследований, можно констатировать, что качественный и ко-

личественный состав донных отложений озера за 2003–2011 гг. не претерпел существенных изменений, хотя тенденция к снижению концентрации тяжелых металлов в 1,1–1,5 раза наблюдается. Сравнение современного состояния осадков с 1992 г., когда основное количество загрязнителей поступало в озеро с промышленными сбросами, показывает значительное снижение содержания металлов в донных отложениях, особенно в III и IV гидрохимических районах в 3 и 4 раза соответственно (рис. 4).

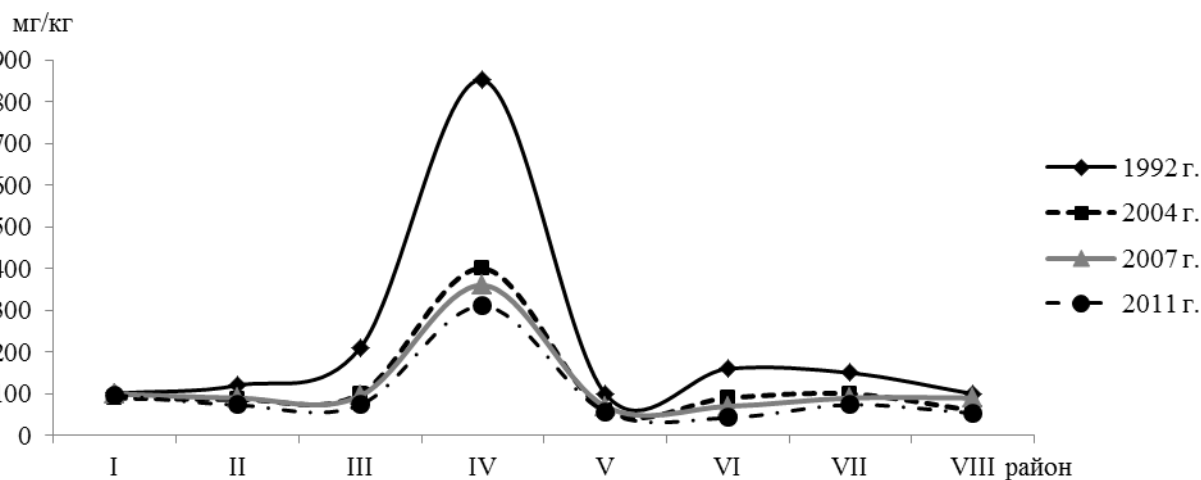


Рис. 4. Многолетняя динамика суммарного содержания тяжелых металлов в донных отложениях оз. Балхаш

Следует отметить, что благодаря высокой буферной емкости озера, благоприятному уровенному режиму в настоящий период и снижению антропогенной нагрузки промышленного комплекса существующее загрязнение донных отложений значительно не отразилось на токсикологическом состоянии водной среды.

### Выводы

Резюмируя вышеизложенное, можно констатировать, что тяжелые металлы в донных отложениях оз. Балхаш распределены неравномерно. Лидирующую позицию по загрязнению донных осадков зани-

мает медь. Концентрация цинка и свинца в осадках отдельных районов также превышает их содержание в почвогрунтах Прибалхашья. В минимальных количествах в донных отложениях обнаружен кадмий.

Накопление тяжелых металлов в донных отложениях зависит от их механического состава и содержания органического вещества. Наибольшее количество металлов аккумулируется в мелкодисперсных илах, богатых органическим веществом.

Локальная зона повышенного содержания металлов находится в IV гидрохимическом районе (бухта Бергыс, залив Торангалык), где расположены основные источники поступления токсикантов – промыш-

ленные предприятия г. Балхаш. Анализ распределения тяжелых металлов в донных отложениях оз. Балхаш подтверждает существование прямого влияния на состояние донных отложений источников техногенного загрязнения в районах с повышенной промышленной нагрузкой. Зона загрязнения донных отложений составляет около 3 453 км<sup>2</sup>. Ореол загрязнения в соответствии с розой ветров простирается в юго-восточном направлении от источника выбросов.

В многолетнем аспекте, благодаря прекращению в 1995 г. сброса сточных вод металлургического ком-

бината непосредственно в озеро, отмечено по сравнению с девяностыми годами снижение в 3–4 раза концентрации металлов в донных отложениях III и IV гидрохимических районов. В последнее десятилетие существенных изменений в качественном составе осадков не произошло, хотя тенденция к снижению количества тяжелых металлов наблюдается.

Современное состояние донных отложений в совокупности с оптимальным гидрологическим режимом способствует нормальному функционированию водоема.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд. М., 1970. 488 с.
2. Тазабеков Т.Т., Гнездилова Л.П. Описание и анализ почвы. Алма-Ата : Кайнар, 1972. 192 с.
3. Грабаров П.Г., Солонникова Е.А. Содержание микроэлементов в центральной части Казахстана // Агрохимическая характеристика почв СССР. М. : Наука, 1958. С. 54–65.
4. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л. : Гидрометиздат, 1970. С. 112.
5. Мур Дж. В., Раммурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М. : Мир, 1987. 272 с.
6. Линник П.Н., Набиванец Ю.Б. Влияние растворенного органического вещества на миграцию цинка и свинца в воде р. Дунай // Водные ресурсы. М. : Наука, 1991. № 5. С. 86–93.
7. Мун А.И., Бектуров А.Б. Распределение микроэлементов в водоемах Казахстана. Алма-Ата : Наука, 1971. 174 с.
8. Шаухарбаева Д.С., Лопарева Т.Я. Влияние выбросов ПО «Балхашцветмет» на химический состав донных отложений оз. Балхаш // Материалы XI Международной конференции по научному обеспечению АПК азиатских территорий (Казахстан, Сибирь, Монголия). Новосибирск, 2008. С. 145, 146.
9. Асылбекова С.Ж., Исбеков К.Б., Лопарева Т.Я., Анурьева А.Н. Влияние воздушных выбросов промышленного комплекса ПО «Балхашцветмет» на биоценозы озера Балхаш // Вестник АГУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2011. № 1. С. 7–14.
10. Асылбекова С.Ж., Лопарева Т.Я., Воробьева Н.Б., Анурьева А.Н., Садырбаева Н.Н. Влияние техногенного загрязнения на эколого-биологическое состояние озера Балхаш // Научные труды ЮКГУ (Южно-Казахстанский Государственный университет) им. М. Ауэзова. 2010. № 3 (21). С. 20–26.
11. Хузина Г.Г., Жумагалиулы Н. Распределение тяжелых металлов в донных отложениях оз. Балхаш в районах, подверженных техногенному воздействию // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. Алматы: Бастау, 2009. № 3. С. 55–60.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 29 октября 2014 г.

## DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF LAKE BALKHASH DEPENDING ON NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS

*Tomsk State University Journal*, 2015, 390, pp. 225–230.

**Sharipova Olga A.** Balkhash Branch of Kazakh Research Institute of Fisheries (Balkhash, Kazakhstan). E-mail: oshar1969@mail.ru

**Keywords:** bottom sediments; heavy metals; pollution; organic substance.

Results of the investigation of the bottom sediments of Lake Balkhash at the modern stage are represented in the article. The distribution of heavy metals in bottom sediments depending on natural and anthropogenic factors is considered. A comparative analysis of toxicant content was made in bottom sediments and in Balkhash soil. It was detected that copper is accumulated more in bottom sediments. The content of copper and lead exceeds the common level almost in every region of Western Balkhash and in hydrochemical region VII. There is accumulation of zinc in region IV of the lake. According to the research, a dependence was noted between accumulation of heavy metals and weight of bottom sediments structure and amount of organic substance. There is accumulation of heavy metals largely in the micro-fine classes: silts and clays. A positive correlation between the concentration of heavy metals and organic substance was found. The calculation of accumulation coefficient showed that bottom sediments of hydrochemical region IV were more subjected to metamorphism. The areas of local pollution of bottom sediments with heavy metals were defined. They include the Bight of Bertys and the Gulf of Torangalyk, where toxicants with industrial wastes arrived for many years. It resulted in the metamorphism of the structure of bottom sediments. Exceeding common meaning for copper and lead is 30 in bottom sediments of Bight of Bertys. The content of zinc is 10 and cadmium five times higher in the considered region. Similar meanings of the given indexes are lower in the Gulf of Torangalyk, they are in the interval 2–8. Direct influence of technogenic pollution sources on the bottom sediments was shown. The total area of pollution by copper is about 3453 km<sup>2</sup>, lead is about 2960 km<sup>2</sup>, zinc – 2513 km<sup>2</sup>, cadmium – 1447 km<sup>2</sup>. In the lake area, concentrations of heavy metals are characteristic for estuarine sediment sections of the rivers. As compared with the 1990s concentrations of metals are 3–4 times lower in the bottom sediments of regions III and IV. There are no significant changes in the quality and quantity of sediment structure, though there is a trend of a decrease in toxicants. Due to the high buffering capacity of the lake, the favorable level of security at the time and due to the weakening of the anthropogenic load of the existing industrial complex, the contamination of bottom sediments did not significantly impact the toxicological state of the aquatic environment.

## REFERENCES

1. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidance on chemical analysis of soil]. 2nd edition. Moscow, 1970. 488 p.
2. Tazabekov T.T., Gnezdilova L.P. *Opisanie i analiz pochvy* [Description and analysis of soil]. Alma-Ata: Kaynar Publ., 1972. 192 p.
3. Grabarov P.G., Solonnikova E.A. *Soderzhanie mikroelementov v tsentral'noy chasti Kazakhstana* [The content of trace elements in the central part of Kazakhstan]. In: *Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv SSSR* [Agrochemical characteristics of soils of the USSR]. Moscow: Nauka Publ., 1958, pp. 54–65.

4. Alekin O.A. *Osnovy gidrokhimii* [Basics of hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometizdat Publ., 1970, pp. 112.
5. Moore J.V., Ramamurthy S. *Tyazhelye metally v prirodnykh vodakh* [Heavy metals in natural waters]. Moscow: Mir Publ., 1987. 272 p.
6. Linnik P.N., Nabivanets Yu.B. Vliyanie rastvorenogo organicheskogo veshchestva na migratsiyu tsinka i svintsa v vode r. Dunay [Effect of dissolved organic substance on the migration of lead and zinc in the water of the Danube]. *Vodnye Resursy*, 1991, no. 5, pp. 86–93.
7. Mun A.I., Bekturov A.B. *Raspredelenie mikroelementov v vodoemakh Kazakhstana* [The distribution of trace elements in the water bodies of Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka Publ., 1971. 174 p.
8. Shaukharbaeva D.S., Lopareva T.Ya. [The impact of emissions of "Balkhashtsvetmet" on the chemical composition of bottom sediments of Lake Balkhash]. *Materialy XI Mezhdunarodnoy konferentsii po nauchnomu obespecheniyu APK aziatskikh territoriy (Kazakhstan, Sibir', Mongoliya)* [Proceedings of the XI International Conference on Scientific Support of IPC of Asian territories (Kazakhstan, Siberia, Mongolia)]. Novosibirsk, 2008, pp. 145–146. (In Russian).
9. Asylbekova S.Zh., Isbekov K.B., Lopareva T.Ya., Anur'eva A.N. Influence of air emissions of industrial complex "Balkhashtsvetmet" onto biocenosis of the lake Balkhash. *Vestnik AGU. Ser.: Rybnoe khozyaystvo – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 2011, no. 1, pp. 7–14. (In Russian).
10. Asylbekova S.Zh., Lopareva T.Ya., Vorob'eva N.B., Anur'eva A.N., Sadyrbaeva N.N. Vliyanie tekhnogennogo zagryazneniya na ekologo-biologicheskoe sostoyanie ozera Balkhash [The impact of anthropogenic pollution on ecological and biological condition of Lake Balkhash]. *Nauchnye trudy YuKGU im. M. Auezova*, 2010, no. 3 (21), pp. 20–26.
11. Khuzina G.G., Zhmagaliuly N. Raspredelenie tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh oz. Balkhash v rayonakh, podverzhennykh tekhnogennomu vozdeystviyu [The distribution of heavy metals in the sediments of Lake Balkhash in areas prone to human impact]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Kazakhstana*, 2009, no. 3, pp. 55–60.

Received: 29 October 2014