

УДК 556.11:639.3

О.А. Шарипова¹А.В. Шарипова²**ЗАВИСИМОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА БАЛХАШ ОТ СОДЕРЖАНИЯ
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В НИХ**

Ключевые слова: донные отложения, микроэлементы, органическое вещество, коэффициент корреляции, уравнение регрессии

В статье приведены факты из области математической статистики, из анализа которых следует, что накопление микроэлементов в донных отложениях озера Балхаш связано с количеством органического вещества в них. С помощью корреляционно-регрессивного анализа определено, что условия трансформации микроэлементов существенно различаются при естественном режиме функционирования экосистемы и при выраженном антропогенном воздействии.

Введение. При оценке экологического состояния водного объекта актуальным является изучение качественных характеристик состава и аккумулярующей способности донных отложений. Они, будучи депонирующей средой, удерживают на длительный срок загрязняющие вещества водоемов и выступают в роли индикаторов техногенного загрязнения. Практический интерес имеет выявление особенностей состояния донных отложений при естественных режимах функционирования водных экосистем и при их нарушениях вследствие антропогенного воздействия. Процессы диагенетических преобразований микроэлементов и их перераспределение в донных осадках зависят от гранулометрического и минерального состава осадков, от количества органического вещества, а также от техногенного воздействия.

Изучение условий функционирования природных экосистем, и в частности экосистем водоемов, связано с систематизацией и обобщением большого объема данных наблюдений за изменчивостью характеристик среды обитания, определением закономерностей взаимосвязанного рас-

¹ Балхашский филиал ТОО КазНИИ рыбного хозяйства, Казахстан

² Омский государственный технический университет, Россия

пределения множества показателей. С этой целью широко используются статистические методы анализа (многомерные методы статистики).

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. На северо-западном побережье озера расположен металлургический комбинат, который, несмотря на важное социально-экономическое значение, в течение многих десятилетий оказывает негативное влияние на природную систему региона в целом, и на прилегающую акваторию озера в частности.

Проблема загрязнения донных отложений оз. Балхаш микроэлементами, вопросы зависимости между накоплением токсикантов и содержанием органического вещества в осадках освещена в ряде научных публикаций – статей и монографий [4, 5, 8].

В данной работе приведена сравнительная характеристика корреляционной зависимости исследуемых показателей в районах озера с разной интенсивностью техногенной нагрузки, для количественной оценки данной взаимосвязи построены уравнения регрессии.

Материал и методика исследований. Материалом для данной работы послужили результаты многолетних мониторинговых исследований (2003...2015 гг.) компонентного состава донных отложений оз. Балхаш.

Балхашский металлургический комбинат, расположенный на территории, прилегающей к бухте Бертыс, является самым крупным загрязнителем экосистемы озера. Пробы донных осадков отбирались по градиенту загрязнения: по 4-м разрезам (бухта Бертыс – Рембаза, Торангалык – Аккум, Малый Сары-Шаган – Орлиная, Гульшат – Корс) по 6...9 точкам на каждом разрезе (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений (разрезы).

Для сравнительного анализа пробы также отбирали по всей акватории озера на станциях, удаленных от источника загрязнения (рис. 2).



Рис. 2. Контрольные станции отбора проб по акватории оз. Балхаш.

Сбор и обработка донных отложений проводились по методическому руководству [1]. В качестве мониторинга в донных отложениях в многолетнем аспекте исследовались следующие микроэлементы: медь, цинк, свинец, кадмий, мышьяк. Содержание валовых форм токсикантов определялось атомно-абсорбционным методом. Обработка результатов мониторинговых исследований (2003...2015 гг.) химического состава донных осадков была осуществлена методом статистического анализа.

Результаты и их обсуждение. Анализ результатов многолетних исследований выявил ряд особенностей в формировании химического состава донных отложений озера Балхаш.

Доминантом по накопительной способности среди микроэлементов в осадках по акватории озера, удаленной от источника загрязнения, является цинк, с концентрацией 26,4...76,4 мг/кг, что соответствует его Кларку и преобладающему содержанию в региональных почвах [2, 6]. Содержание свинца в осадках варьирует в диапазоне 6,4...38,8 мг/кг, меди – 7,2...37,3 мг/кг. В минимальных количествах обнаружены кадмий (0,8...4,4 мг/кг) и мышьяк (0,05...0,20 мг/кг). Наиболее чистыми являются донные отложения приустьевых участков рек, что связано с высокой проточностью и песчаным гранулометрическим составом осадков. Микроэлементы в количественном отношении сорбируются в следующей последовательности: $Zn > Pb > Cu > Cd > As$.

Процессы аккумуляции и трансформации токсикантов в донных осадках зависят от механического состава отложений, количества органического вещества, от интенсивности техногенного загрязнения.

Согласно исследованиям КазНИИ рыбного хозяйства [7], в оз. Балхаш выделены несколько видов грунтов: гравийные осадки, крупно-среднезернистые пески, мелкозернистые пески, крупные алевриты, мелко-алевритовые илы, алеврито-глинистые илы, глинистые илы. Основную

часть дна оз. Балхаш около 10900 км² (59 %) занимают илы (мелкоалевритовые, алеврито-глинистые, глинистые); крупный алеврит охватывает около 3900 км² (19,5 %); пески и гравийные осадки распространяются на площади около 5100 км² (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 органического вещества. Содержание органического вещества в донных отложениях оз. Балхаш относительно невысокое, колеблется в пределах 0,5...7,7 %, что составляет в количественном отношении 5...77 г/кг.

Рядом исследований доказано [3], что органические вещества имеют способность к связыванию ионов тяжелых металлов, образуя с ними комплексные соединения. Положительная зависимость суммарного содержания микроэлементов в донных отложениях от количества органического вещества отображена на рис. 3.

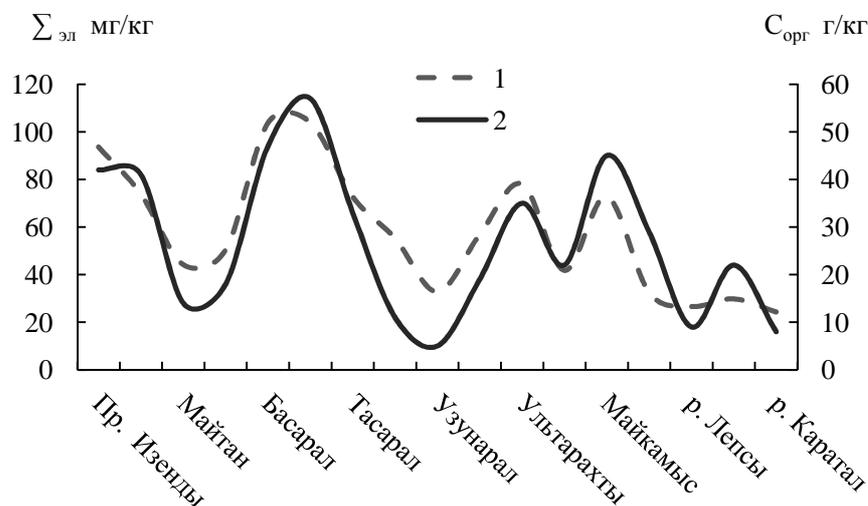


Рис. 3. Зависимость между суммарным содержанием микроэлементов (1) и количеством органического вещества (2) в донных осадках оз. Балхаш.

Для количественной оценки данной взаимосвязи рассчитаны коэффициенты корреляции и построены уравнения регрессии (табл. 1).

Данная корреляция характеризует линейную взаимосвязь в вариациях переменных. По направлению корреляционная связь положительная (прямая), следовательно, донные отложения с более высоким содержанием органического вещества кумулируют большее количество микроэлементов.

Таблица 1

Функциональная зависимость содержания микроэлементов (у, г/кг) от количества органического вещества в донных отложениях оз. Балхаш (х, г/кг)

Элемент	Коэффициент корреляции, r	Уравнение регрессии	Величина достоверности аппроксимации, R ²
Σ	0,87	$y = 0,0045x + 0,0012$	0,75
Медь	0,84	$y = 0,0017x - 0,0103$	0,71
Цинк	0,90	$y = 0,001x + 0,0154$	0,80
Свинец	0,87	$y = 0,001x + 0,0021$	0,75
Кадмий	0,82	$y = 0,00005x + 0,0021$	0,72
Мышьяк	0,47	-	-

По степени значимости корреляционных связей между содержанием токсиканта и количеством органического вещества, определяемые металлы можно расположить в следующей последовательности: Zn > Pb > Cu > Cd. Полученные коэффициенты корреляции, согласно шкале Чеддока, определили высокую зависимость между концентрациями отдельных металлов и количеством органики. Проведенный анализ величин коэффициентов корреляции показал, что не выявлена значимая связь между концентрацией мышьяка и количеством органического вещества ($r = 0,47$). Сорбция мышьяка органическим веществом озерных осадков играет меньшую роль, чем сорбция других тяжелых металлов. Главные компоненты, сорбирующие мышьяк – полуторные оксиды и их соединения с кремнеземом, которые обладают низкой миграционной способностью [3].

Практический интерес имеет выявление особенностей состояния донных отложений при естественных режимах функционирования водных экосистем и при их нарушениях вследствие антропогенного воздействия. Качественный состав донных отложений оз. Балхаш, также как и воды, характеризует степень антропогенного воздействия на разные участки озера.

Содержание токсикантов в донных отложениях загрязненных участков имеет высокую вариабельность. Диапазон значений концентраций поллютантов представлен в табл. 2.

Содержание меди в донных осадках более удаленных разрезов в 1,5...4,0 раза превышает аналогичные показатели условно чистых районов озера. Максимальное количество меди характерно для грунтов бух. Бертыс (3794...4064 мг/кг в точках 1 и 2 рис. 1) и зал. Торангалык (1014 мг/кг в точке 1, рис. 1), что в десятки и сотни раз выше концентраций элемента на контрольных станциях озера. Количество цинка в осадках по градиенту загрязнения от 3 до 18 раз выше средних величин

оз. Балхаш. Максимум концентраций свинца наблюдается в донных отложениях бух. Бертыс (1124...1475 мг/кг в точках 1 и 2, рис. 1) и зал. Торангалык (165...206 мг/кг в точках 1 и 2, рис. 1). Аккумуляция кадмия и мышьяка в 1,6...5,5 и 2,0...9,0 раз интенсивнее в локальных зонах загрязнения по сравнению с удаленными участками водоема.

Таблица 2

Предельные концентрации микроэлементов (мг/кг) и органического вещества (г/кг) в донных отложениях по градиенту загрязнения

Компонент	М. Сары-Шаган – бух. Орлиная	бух. Бертыс – Рембаза	Торангалык – Аккум	Гульшат – Корс
Медь	10,0...62,2	544...4064	17,2...1014	13,6...125,2
Цинк	22,6...72,8	144...1052	45,2...189,4	31,0...84,6
Свинец	17,8...57,1	148...1475	28,2...206,4	30,4...107,8
Кадмий	0,6...3,4	5,8...21,6	2,2...5,4	2,0...5,0
Мышьяк	0,08...0,15	0,10...0,43	0,09...0,45	0,001...0,10
Органическое вещество	7,0...42,0	37,0...89,0	10,0...61,0	23,0...77,0

С помощью статистического анализа возможно определить участки озера с аномально высоким содержанием загрязняющих веществ в грунтах, не подчиняющихся корреляционной зависимости. На рис. 4 и 5 представлено распределение микроэлементов и органического вещества в локальных зонах загрязнения – бухте Бертыс и зал. Торангалык (1..3 точки).

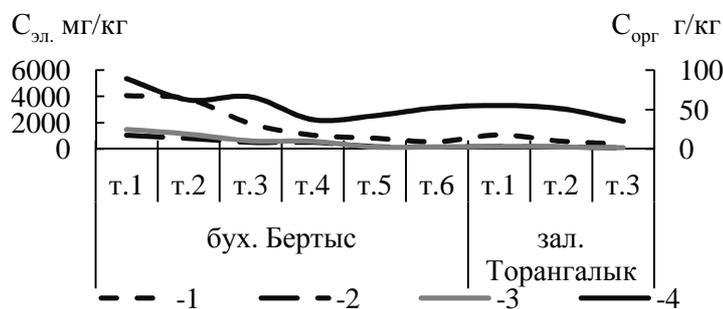


Рис. 4. Распределение меди (1), цинка (2), свинца (3) и органического вещества (4) в донных отложениях по разрезу бух. Бертыс – Рембаза, зал. Торангалык.

Как видно на рисунках, линии тренда элементов и органического вещества проходят не синхронно, что свидетельствует об отсутствии взаимосвязи представленных показателей.

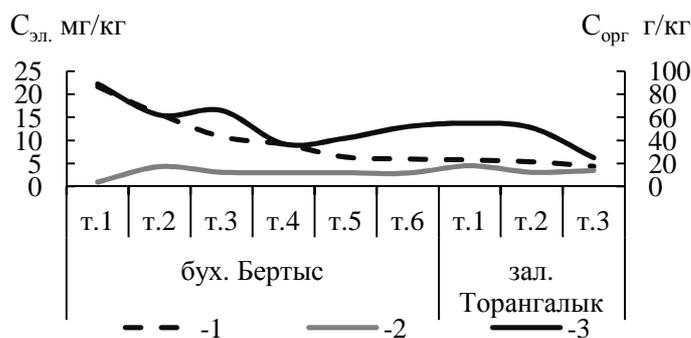


Рис. 5. Распределение кадмия (1), мышьяка(2) и органики (3) в донных отложениях по разрезу бух. Бертыс – Рембаза, зал. Торангалык.

В локальных техногенных аномалиях с высоким содержанием элементов невозможно использовать представленные выше уравнения регрессии, в данном случае исследуемые параметры статистически не связаны.

Выводы:

1. Процесс аккумуляции тяжелых металлов в грунтах озера зависит от содержания органического вещества. Взаимосвязь варьирующих величин положительная, статистически значимая и описывается линейными уравнениями. Коэффициенты корреляции составляют 0,82...0,90.

2. Сорбция мышьяка органическим веществом озерных осадков играет меньшую роль, чем сорбция тяжелых металлов, корреляционная связь незначимая ($r = 0,47$).

3. В наиболее загрязненных донных осадках озера (бух. Бертыс и зал. Торангалык) рассматриваемые компоненты не взаимосвязаны и не подчиняются закономерностям корреляционно-регрессивного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: МГУ, 1970. – 488 с.
2. Грабаров П. Г., Солодникова Е. А. Содержание микроэлементов в центральной части Казахстана // Агрехимическая характеристика почв СССР. – М.: Наука, 1958. – С. 54-65.
3. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
4. Проблемы гидрологической устойчивости в бассейне озера Балхаш / Под ред. Самаковой А.Б. – Алматы: Каганат, 2003. – 584 с.
5. Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш / Под ред. Кудекова Т.К. – Алматы: Каганат, 2002. – 389 с.

6. Тазабеков Т.Т., Гнездилова Л.П. Описание и анализ почвы. – Алма-Ата: Кайнар, 1972. – 192 с.
7. Тленбеков О.К., Трофимов Г.С., Васильева Н.А., Нестеренко Т.И. Донные отложения озера Балхаш // Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. – Алма-Ата: 1974. – Вып. 8. – С. 15-19.
8. Хузина Г.Г., Жумагалиулы Н. Распределение тяжелых металлов в донных отложениях оз. Балхаш в районах, подверженных техногенному воздействию // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 2009. – №3. – С. 55-60.

Поступила 23.05.2016

Шарипова О.А., Шарипова А.В.

**БАЛҚАШ КӨЛІНІҢ ТҮБІНДЕГІ ТОНБАЛАРЫНДАҒЫ
МИКРОЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ЖИНАҚТАЛУЫНЫҢ ОНЫҢ
ІШІНДЕГІ ОРГАНИКАЛЫҚ ЗАТТАРҒА МӘУЕЛДІЛІГІ**

Түйін сөздер: түбіндегі тұнбалары, микроэлементтер, органикалық заттар, корреляция коэффициенті, регрессиялық теңдеу

Мақалада математикалық статистика саласынан фактілер келтірілген. Олардың сараптамасы бойынша Балқаш көлінің түбіндегі тонбаларындағы микроэлементтердің жинақтаулы оның ішіндегі органикалық заттардың мөніерімен байланысты. Корреляциялық - регрессивті анализ арқылы микроэлементтердің трансформация жағдайлары экожүйенің табиғи жұмыс жасау режимінде және ашық көрінген антропогендік жер ету кезінде күрт өзгеретіндіктері анықталды.

O.A. Sharipova, A.V. Sharipova

**THE DEPENDENCE OF THE MICROELEMENTS ACCUMULATION
IN THE BALKHASH LAKE BOTTOM SEDIMENTS ON THE CON-
TENT OF ORGANIC MATTER IN THEM**

Keywords: bottom sediments, minerals, organic matter, the correlation coefficient, the regression equation

The article presents the facts from the field of mathematical statistics, an analysis of which shows that the accumulation of microelements in the sediments of Lake Balkhash is associated with the amount of organic matter in them. With correlation and regression analysis determined that trace the transformation conditions are significantly different in the natural mode of functioning ecosystems and in severe human impact.