

УДК 556.555.8

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Семенова И.Н., Кужина Г.Ш., Ягафарова Г.А., Аминова А.А.

*Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет»,
Сибай, e-mail: alexa-94@mail.ru*

В работе исследована пространственная изменчивость тяжелых металлов в грунтах левобережья северной части Ириклинского водохранилища, созданного для обеспечения водохозяйственных потребностей восточной и центральной частей Оренбургской области. Бассейн водохранилища отличается значительным разнообразием месторождений полиметаллических руд, интенсивная разработка которых горнорудными предприятиями области существенно увеличила загрязнение данного водоема. Среди источников загрязнения следует выделить также промышленные предприятия, объекты животноводства и сельскохозяйственные поля его прибрежной зоны. Изученные металлы по среднему их содержанию в осадках водоема образуют убывающий ряд: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd. Валовое содержание меди варьировало в пределах от 50 до 327 мг/кг, цинка – от 226 до 1289 мг/кг, железа – от 64100 до 201750 мг/кг, марганца – от 1164 до 2115 мг/кг, кадмия – от 0,03 до 0,5 мг/кг, свинца – от 10 до 22 мг/кг, никеля – от 59 до 100 мг/кг, кобальта – от 0,2 до 1,3 мг/кг. По показателю суммарного загрязнения донные отложения исследованной территории характеризуются чрезвычайно опасным и опасным уровнем техногенного загрязнения, а также опасной степенью санитарно-токсикологической опасности. В грунтах створа Уральское активно протекали процессы аккумуляции меди и цинка, Покровка – железа и цинка, Таналык – железа. Для осадков створа Чапаевка не выявлено металлов, склонных к накоплению.

Ключевые слова: донные отложения, тяжелые металлы, р. Урал, Ириклинское водохранилище, геохимический фон

SPATIAL VARIABILITY OF HEAVY METALS IN THE SEDIMENTATIONS OF THE LEFT-BANK OF NORTHERN PART OF IRIKLINSKY RESERVOIR

Semenova I.N., Kuzhina G.S., Yagafarova G.A., Amineva A.A.

Sibaiski Institute (branch) «The Bashkir state University», Sibay, e-mail: alexa-94@mail.ru

The work is devoted to research the spatial variability of heavy metals in sediments of the left – bank of the northern part of the Irikliński reservoir created to provide water needs of the eastern and central parts of the Orenburg region. The pool of a reservoir differs a considerable variety of polymetallic ores, intensive development of mining enterprises in the region which has significantly increased pollution of this reservoir. It is necessary to distinguish the industrial enterprises, objects of animal husbandry and agricultural fields of its coastal zone from sources of pollution. In the sediments of the pond studied metals at an average content form a descending range: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > > Cd. Gross copper content ranged from 50 to 327 mg/kg, zinc – from 226 to 1289 mg/kg, iron – from 64100 to 20175 mg/kg, manganese – from 1164 to 2115 mg/kg, cadmium – from 0,03 to 0,5 mg/kg, lead – from 10 to 22 mg/kg, nickel – from 59 to 100 mg/kg, cobalt – from 0,2 to 1,3 mg/kg. Sediments of the investigated territory the total pollution are characterized by extremely dangerous and hazardous industrial pollution, and hazardous degree sanitary-toxicological risk. In sediments point Uralsky actively running processes accumulation of copper and zinc, Pokrovka – iron and zinc Tanalyk – iron. For sediments point Chapaevka not revealed metals tend to accumulate.

Keywords: sediments, heavy metals, river Ural, Irikliński reservoir, geochemical background

Неотъемлемой частью водных ресурсов Оренбургской области и ее современного ландшафта являются искусственные водоемы. Наиболее крупным на Южном Урале является Ириклинское водохранилище (1955 г.), оказывающее влияние на гидрологический и гидрохимический режимы, биологическую продуктивность, видовое разнообразие флоры и фауны в пределах акватории и прилегающих ландшафтов. Оно создано для обеспечения водохозяйственных потребностей восточной и центральной частей Оренбургской области (Орско-Халиловского металлургического комбината, Гайского горно-обогатительного комбината, промышленности и коммунального хозяйства г. Орска). Кроме этого, водоем вы-

полняет функцию «регулятора» водности среднего течения р. Урал, оказывающего существенное воздействие на процессы самоочищения и биологическую продуктивность водотока. В 1970 году была введена в эксплуатацию Ириклинская ГРЭС мощностью 1200 МВт, полная проектная мощность которой (2400 МВт) достигнута в 1979 г [9].

Ириклинское водохранилище относится к долинно-руслевому типу, длина которого по р. Урал составляет 73 км, наибольшая ширина – 10 км, наибольшая глубина у плотины – 38 м, средняя глубина – 12,5 м, площадь зеркала – 260 км² [8]. С севера на юг размещаются плесы: Уртазымский, Чапаевско-Орловский, Софиевский, Таналык-Сундукский и Нижний (рисунок).



Карта-схема расположения точек отбора проб донных отложений

Бассейн Ириклинского водохранилища отличается значительным разнообразием полезных ископаемых (медно-колчеданно-полиметаллических, никелевых, железных, марганцевых, свинцовых, золотоносных руд, мрамора, черных сланцев, кварца), интенсивная разработка и переработка которых существенно увеличили загрязнение данного водоема. Среди источников загрязнения водохранилища следует выделить удаленные промышленные предприятия, расположенные в Республике Башкортостан и Челябинской области, объекты животноводства и сельскохозяйственные поля его прибрежной зоны [9].

Среди основных загрязнителей водной среды выделяют тяжелые металлы (ТМ), обладающие токсическим действием на жизнедеятельность биоты и консервативным действием в инерционном ее звене –

донных отложениях (ДО). По химическому составу грунтов можно получить полную информацию об уровне техногенного загрязнения, и поэтому их исследование имеет большое значение в оценке экологического состояния водоема [3].

Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили результаты полевых исследований, проведенных в 2013 г. на территории Кваркенского района Оренбургской области. Наблюдательная сеть включала 4 створа, расположенные по левому берегу северной части Ириклинского водохранилища (рисунок).

Отбор проб донных отложений проводили в летний период в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01. Верхний слой ила мощностью до 10 см отбирали с помощью ковшевого дночерпателя в полиэтиленовые пакеты. При этом послойного разделения пробы не осуществлялось. Масса влажной пробы составляла приблизительно 300 г. Во избежание влияния неоднородности

грунта на получаемые результаты, в каждом створе отбирали 3–4 образца отложений. Донные осадки высушивались при комнатной температуре и были просеяны через сито $d = 0,5$ мм для удаления дрейсен и фракции гальки. Далее образцы грунтов объединялись путем квартования в одну усредненную пробу, с которой проводили лабораторные исследования.

Для определения содержания ТМ в донных отложениях использовали метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии как один из наиболее селективных и воспроизводимых методов, позволяющих решать задачи экологического мониторинга. В образцах определяли валовое содержание Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Ni, Co. Для этого металлы переводили в раствор путем полного разложения проб смесью азотной, хлорной и плавиковой кислот, и проводили последующее измерение их концентрации в водном растворе в соответствии с МУ РД 52.18.685 [5]. Лабораторные исследования проводили в центральной химической лаборатории обогатительной фабрики Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината на аппарате «CONTR AA» (Германия) с пламенным атомизатором «ацетилен–воздух».

Статистическую обработку полученных результатов осуществляли общепринятыми методами [7] с помощью пакета компьютерных программ «Statistica 6.0» и «Microsoft Excel». Для каждого среднего арифметического значения определялась ошибка ($M \pm m$). Достоверность различий средних сравниваемых величин определялась по стандартному t -критерию Стьюдента для малых выборок. За достоверное принимали различие при уровне значимости $p < 0,05$. Для выявления связей между содержанием элементов в донных отложениях, воде использовался корреляционный анализ, в котором при $r < 0,30$ – связь оценивалась как слабая, $r = 0,31–0,70$ – средняя, $r > 0,70$ – сильная.

Для экологической оценки загрязнения донных отложений исследуемого водоема использовали кратность превышения геохимических фоновых концен-

траций ТМ, установленных Институтом минералогии, геохимии и кристаллографии редких элементов (ФГУП «ИМГРЭ») [2].

Для сравнительной оценки загрязнения грунтов применялся показатель накопления (ПН) металлов, характеризующий превышение содержания рассматриваемого элемента в данной точке отбора по сравнению с другими [3]:

$$\text{ПН} = \frac{C_i - C_p}{C_p} \cdot 100 \%,$$

где C_i – концентрация металла в отложениях данного створа; C_p – содержание данного металла в других створах.

Для характеристики техногенных илов использовались следующие показатели [10]:

1. K_c – коэффициент концентрации элемента представляет собой отношение концентрации i -микроэлемента к значению геохимического фона.

2. Z_c – суммарный показатель загрязнения представляет собой сумму коэффициентов концентрации K_c элементов, входящих в геохимическую ассоциацию, характеризует уровень техногенного загрязнения водотока. Рассчитывали по формуле:

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_c \right) - (n-1).$$

3. Показатель санитарно-токсикологической опасности Z_{ct} представляет сумму коэффициентов концентрации K_c химических элементов 1-го и 2-го классов опасности. В данном случае можно говорить о санитарно-токсикологической вредности донных отложений как вещества. Показатель рассчитывали по той же формуле, что и Z_c с соответствующей корректировкой учитываемых химических элементов.

Уровень техногенного загрязнения и степень потенциальной санитарно-токсикологической опасности грунтов оценивали по ориентировочной шкале (табл. 1).

Таблица 1

Ориентировочная шкала оценки загрязнения водоемов по интенсивности накопления химических элементов в донных отложениях

Z_c	Уровень техногенного загрязнения [2]	Z_{ct}	Степень санитарно-токсикологической опасности [10]
< 8	Слабо загрязненный	< 10	Допустимая
8–16	Допустимый	10–30	Умеренная
16–32	Умеренно опасный	30–100	Опасная
32–128	Опасный	100–300	Очень опасная
> 128	Чрезвычайно опасный	> 300	Чрезвычайно опасная

Результаты исследования и их обсуждение

Средние концентрации металлов и пределы их колебания в донных осадках северной части водохранилища отражены в табл. 2, из которой следует, что в их пространственном распределении в субмеридиональном направлении наблюдается неравномерность.

В исходных образцах грунтов створа Уральское наблюдалось превышение геохимического фона для меди в 82 раза, цинка –

64 раза, железа – 21 раза, кобальта – 10 раз, никеля – 3 раза, свинца – 2,4 раза, марганца – 1,1 раза. Следует отметить, что в отложениях данного створа зафиксировано максимальное содержание меди и цинка.

В осадках створов Покровка и Чапаевка зафиксировано превышение фона для всех исследованных металлов. При этом в створе Покровка показатель накопления для некоторых микроэлементов по отношению к предыдущему створу возрос и соответственно составил для Fe – 155,

Ni – 29, Mn – 12 и Cd – 1000 %. В то же время содержание остальных микроэлементов снизилось для Cu на 79%; Zn, Co, Pb – от

50 до 55 %. Максимум железа зарегистрирован в этом створе, превышающий нормы в 53 раза.

Таблица 2

Валовое содержание тяжелых металлов в донных отложениях Ириклинского водохранилища

Точка отбора	Концентрация, мг/кг							
	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	Ni	Co
Уральское	327 ± 85	1289 ± 322	78950 ± 23680	1164 ± 349	0,03	22 ± 7	59 ± 18	1,0
Покровка	69 ± 11	640 ± 105	201750 ± 60250	1309 ± 385	0,33	10 ± 2	76 ± 21	0,5
Чапаевка	56 ± 8	226 ± 68	64100 ± 15863	1794 ± 436	0,55	11 ± 3	63 ± 15	1,3
Таналык	50 ± 9	370 ± 92	141475 ± 42365	2115 ± 658	0,03	13 ± 4	100 ± 29	0,2
Фон [6]	4	20	3800	1100	0,3	9	20	0,1

В отложениях створа Чапаевка наблюдалось значительное увеличение концентрации Mn (ПН – 37%), Cd (ПН – 67%), Co (ПН – 16%). Максимальное содержание кадмия и кобальта на исследованном участке водохранилища, зафиксированное в исходных грунтах данного створа, превышало фон в 1,8 и 13 раз соответственно.

Донные осадки створа Таналык загрязнены всеми изученными металлами, за исключением кадмия, содержание которого, как и в грунтах створа Уральское, не превышало значения естественного уровня. В то же время в этом створе зарегистрировано максимальное превышение фона по марганцу в 1,9 раза, никелю – 5 раз. Для остальных металлов превышение фона составило

по Fe в 37 раз, Cu – 12 раз, Zn – 18 раз, Pb – 1,4 раза, Co – 2 раза.

При корреляционном анализе валовых содержаний металлов в образцах отложений Ириклинского водохранилища выявлена достоверная связь сильной степени между Cu и Pb ($r = 0,95$). Некоторые авторы полагают, что в реакциях комплексообразования свинца (II) с «водным гумусом» в качестве конкурирующего металла выступает Cu (II). Сопоставление констант устойчивости гуматных и фульватных комплексов свинца и меди свидетельствует о более прочном связывании последнего металла [4].

Наличие источника антропогенного воздействия на водные системы обуславливает накопление геохимических ассоциаций в донных отложениях (табл. 3).

Таблица 3

Геохимические ассоциации тяжелых металлов в донных отложениях Ириклинского водохранилища

Точка отбора	Порядок значений K_c химических элементов				Показатели состояния	
	100–30	30–10	10–3	< 3	Z_c	$Z_{ст}$
Уральское	Cu, Zn	Fe	Ni, Co	Mn, Cd, Pb	178	156
Покровка	Zn, Fe	Cu	Ni, Co	Mn, Cd, Pb	108	55
Чапаевка		Cu, Zn, Fe, Co	Ni	Mn, Cd, Pb	55	39
Таналык	Fe	Cu, Zn	Ni, Co	Mn, Cd, Pb	72	34

Анализ содержаний металлов в донных осадках урбанизированных районов водохранилища показал, что в грунтах створа Уральское активно протекали процессы аккумуляции по меди ($K_c = 82$) и цинку ($K_c = 64$). В донных отложениях створа Покровка наблюдалось интенсивное накопление железа ($K_c = 53$) и цинка ($K_c = 32$). Высокая степень аккумуляции ($K_c = 37$) характерна для железа в створе Таналык. Для осадков створа Чапаевка металлов,

склонных к накоплению, не выявлено ($1,2 \leq K_c \leq 17$).

По интенсивности накопления тяжелых металлов в донных отложениях створ Уральское относится к территории с чрезвычайно опасным уровнем техногенного загрязнения и очень опасной степенью санитарно-токсикологической опасности. Осадки остальных створов характеризовались опасными уровнями загрязнения и степенью санитарно-токсикологической опасности.

Выводы

Таким образом, на левом берегу северной части Ириклинского водохранилища происходит перераспределение концентраций изученных металлов в донных отложениях, обусловленное изменением гидродинамического режима водоема и геохимическими условиями района исследования [1, 6]. Изменение состава грунтов водохранилища, возможно, связано с влиянием удобрений, пестицидов и техники, применяемых в процессе сельскохозяйственной деятельности человека, а также органическими стоками животноводческих комплексов, расположенных вблизи водоема. Характерными источниками загрязнения водохранилища являются сельские населенные пункты, как правило, не имеющие санитарно-гигиенического обустройства, централизованной системы канализации и очистных сооружений [9].

Список литературы

1. Выхристюк Л.А., Варламова О.Е. Донные отложения и их роль в экосистеме Куйбышевского водохранилища. – Самара, 2003. – 174 с.
2. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. – СПб.: Изд-во «Глобус», 2012. – 140 с.
3. Косов В.И., Иванов Г.Н., Левинский В.В., Ежов Е.В. Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях Верхней Волги // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28. – № 4. – С. 448–453.
4. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 272 с.
5. Методические указания «Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии». – СПб.: Гидрометеоздат, 2006. – 30 с.
6. Опекунов А.Ю. Экологическая седиментология: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2012. – 224 с.
7. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 – 416 с.
8. Чибилёв А.А. Бассейн Урала: история, география, экология. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 312 с. + вкл. 96 с.
9. Чибилёв А.А., Павленчик В.М., Дамрин А.Г. Ириклинское водохранилище: геоэкология и природно-ресурсный потенциал. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 182 с.
10. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 52 с.

References

1. Vykhristyuk L.A. Varlamova O.E. Ground deposits and their role in an ecosystem of the Kuibyshev reservoir. Samara, 2003, 174 p.
2. Production of nonmetallic construction materials in water objects. Accounting of ruslovy process and recommendation about design and operation ruslovykh of pits. St. Petersburg: Publishing house «Globe», 2012, 140 p.
3. Kosov V.I., Ivanov G.N., Levinsky V.V., Ezhov E.V. Concentration of heavy metals in sediments of the Volga, Water resources. 2001, T.28, no 4, pp. 448–453.
4. Linnik P.N., Nabivanets B.I. Forms of migration of metals in a fresh surface water. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 272 p.
5. Methodical instructions «Definition of a mass fraction of metals in tests of soils and ground deposits. Technique of performance of measurements by a method of a nuclear and absorbing spektrofotometriya». St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2006, 30 p.
6. Opekunov A.Yu. Environmental sedimentology. St. Petersburg. Univ SPb. University Press, 2012, 224 p.
7. Puzachenko Yu.G. Mathematical methods in ecological and geographical researches: Manual for students of higher education institutions. Moscow: Publishing center «Akademiya», 2004, 416 p.
8. Chibilyov A.A. Basseyn of the Urals: history, geography, ecology. Yekaterinburg: UrO RAS, 2008, 312 p.
9. Chibilyov A.A. Pavlenchik V.M., Damrin A.G. Iriklin-skoye reservoir: geoecology and natural and resource potential. Yekaterinburg: UrO RAS, 2006, 182 p.
10. Yanin E.P. Technogenic geochemical associations in ground deposits of the small rivers (structure, features, assessment methods). Moscow: IMGRE, 2002, 52 p.

Рецензенты:

Суюндуков Я.Т., д.б.н., профессор, директор ГАНУ «Институт региональных исследований», г. Сибай;

Янтурин С.И., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой экологии Сибайского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», г. Сибай.

Работа поступила в редакцию 07.05.2014.