

УДК 550.422(571.51+282.256.3)

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЕНИСЕЙ В РАЙОНЕ КРАСНОЯРСКА

Дементьев Дмитрий Владимирович,

канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. радиоэкологии Института биофизики
СО РАН, Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50.
E-mail: dementyev@gmail.com

Болсуновский Александр Яковлевич,

д-р биол. наук, заведующий лаб. радиоэкологии Института биофизики
СО РАН, Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50.
E-mail: radecol@ibp.ru

Борисов Роман Владимирович,

канд. хим. наук, ведущ. инженер лаб. радиоэкологии Института биофизики
СО РАН, Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50; мл. науч.
сотр. Института химии и химической технологии СО РАН, Россия, 660036,
Красноярск, Академгородок, 50/24. E-mail: roma_boris@list.ru

Трофимова Елена Александровна,

мл. науч. сотр. лаб. радиоэкологии Института биофизики СО РАН,
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50.
E-mail: e.trofimova11@yandex.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью получения информации по концентрации химических элементов в донных отложениях р. Енисей в условиях непрерывной антропогенной нагрузки.

Цель работы: определение уровня техногенного загрязнения донных отложений р. Енисей тяжёлыми металлами в районе г. Красноярск.

Методы исследования. Общее содержание металлов Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС Квант 2А в аналитической лаборатории ИБФ СО РАН. Концентрацию Ca, Fe, Na, Sr, U, Th, Rb, Cs, Eu, La, Sb, Co, Sm, Se, Ba, Nd, Sc, As, Zn определяли инструментальным нейтронно-активационным анализом на исследовательском реакторе НИ ТПУ (г. Томск).

Результаты. В донных отложениях р. Енисей на участке протяжённостью более 100 км в районе г. Красноярск определено содержание 24 химических элементов. Показано, что распределение тяжёлых металлов имеет неоднородный характер, когда в близлежащих точках концентрации химических элементов в донных отложениях могут отличаться в несколько раз. Концентрации Cd и Ni на некоторых исследованных участках превышают пороговые значения, выше которых для биоты могут проявляться негативные эффекты. Содержание Zn, Cu, Cr и Pb в донных осадках р. Енисей лежит в диапазоне средних значений для речных систем других регионов России. Отмечено, что ниже по течению р. Енисей от г. Красноярск наблюдается повышение концентрации U, Th, Se, Cs. Для исследованных металлов критических превышений, аномалий или явных закономерностей влияния промышленных предприятий на химический состав донных отложений не выявлено.

Ключевые слова:

Донные отложения, тяжёлые металлы, лантаноиды, актиноиды, мониторинг, река Енисей.

Введение

Мониторинг содержания элементов в водных объектах вблизи агломераций и крупных промышленных предприятий является актуальной проблемой из-за постоянного ухудшения качества вод ввиду загрязнений их тяжёлыми металлами (ТМ). Однако в реках с высокой скоростью течения показатели содержания металлов в воде не отражают полной картины загрязнения биоты и донных отложений (ДО) металлами [1]. Как правило, концентрации тяжёлых металлов в воде ниже, чем в ДО, что во многом определяется их быстрым переходом из растворенного состояния во взвеси, обладающие высокой сорбционной способностью. Поэтому ДО в русле реки накапливают информацию о

химических загрязнениях, присутствующих в воде [2, 3]. В то же время накопление тяжёлых металлов в ДО в значениях, превышающих фоновые показатели, представляет опасность для качества вод, вследствие возможного выноса микроэлементов из ДО. Таким образом, высокие концентрации тяжёлых металлов в ДО негативно сказываются на биологических компонентах, которые активно аккумулируют из воды химические соединения. Поэтому актуальной задачей является получение сведений о содержании металлов в воде, ДО и гидробионтах, чему посвящено большое количество работ из различных регионов России [1–13] и мира [14–20]. В России на данный момент не существует действующих федеральных нормативных доку-

ментов, которые устанавливают уровни ПДК для тяжёлых металлов в донных отложениях, поэтому для оценки степени загрязнения ДО обычно используют ПДК для почв или воды. Известен региональный норматив [21], разработанный в г. Санкт-Петербург, который позволяет оценить уровни загрязнений ДО водных объектов, но широкого распространения он не получил. Наряду с ПДК, для оценки качества ДО можно использовать подход, основанный на сравнении с фоновыми значениями. Но здесь существуют проблемы как стандартизации подходов к определению фоновых уровней разными авторами, так и недостаточного количества данных для всего многообразия географических объектов. Кроме того, сравнение с фоновыми уровнями не учитывает эффекты переноса и аккумуляции поллютантов в биоте. Существуют зарубежные критерии оценки качества ДО, учитывающие воздействие на живые организмы [14–16]. Авторы предлагают использовать два контрольных уровня концентрации: Threshold Effect Concentration (ТЕС) – пороговая концентрация, ниже которой негативных эффектов не наблюдается, и Probable Effect Concentration (РЕС) – пороговая концентрация, выше которой возможны негативные эффекты.

Целью настоящей работы являлось определение уровня техногенного загрязнения донных отложений р. Енисей тяжёлыми металлами в районе г. Красноярска.

Объекты и методы исследования

Пробы донных отложений отбирали в 2012–2013 гг. на участках р. Енисей (рис. 1): 1) вне зоны влияния промышленных предприятий, выше по течению г. Красноярска (точки ДО1–ДО5); 2) в зоне влияния промышленных стоков – острова в черте Красноярска (точки ДО6–ДО8); 3) ниже по течению от Красноярска (ДО9, с. Есаулово); 4) вблизи населенных пунктов с. Атаманово и с. Б. Балчуг в зоне влияния сбросов Горно-химического комбината ГК Росатом (ГХК) (точки ДО10–ДО17). Расстояние между крайними точками отбора составило 118 км. В указанных точках р. Енисей с глубины до 0,5 м пластиковым пробоотборником отбирали поверхностный слой донных отложений (0–20 см). В лаборатории пробы помещали в стаканы, предварительно удалив крупную гальку, и отстаивали несколько дней, периодически сливая излишки воды. Далее пробы высушивали при температуре 105 °С и просеивали через сито с размером ячейки 0,9 мм.

Общее содержание металлов Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd в пробах определяли в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36–2002 «Методика измерений валового содержания кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома и цинка в почвах, донных отложениях, осадках сточных вод и отходах методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии» на атомно-абсорбционном спектрометре Квант 2А. Измерения выполнены в ана-

литической лаборатории ИБФ СО РАН. Общее содержание элементов Ca, Fe, Na, Sr, U, Th, Rb, Cs, Eu, La, Sb, Co, Sm, Ce, Ba, Nd, Sc, As, Zn определяли инструментальным нейтронно-активационным анализом на исследовательском реакторе ФГАОУ ВО НИ ТПУ (г. Томск).

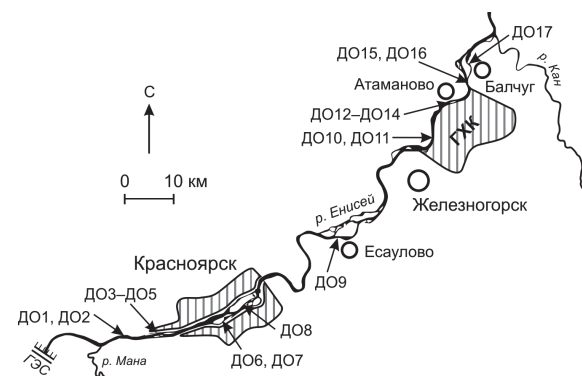


Рис. 1. Карта-схема района отбора проб донных отложений р. Енисей

Fig. 1. Map of the region of sampling bottom sediments of the river Yenisei

Обсуждение результатов и выводы

В табл. 1 представлены данные о содержании Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd, As в пробах, отобранных в 2012–2013 гг. Данные элементы являются типичными представителями ТМ, и определение их содержания в ДО рассматривается в большом количестве российских [1, 2, 5, 6, 8–13] и зарубежных [14–20] работ. Степень загрязнения ДО р. Енисей вышеуказанными элементами определяли путём сравнения измеренных концентраций со значениями ПДК [21] и пороговыми уровнями ТЕС и РЕС [15].

В 2012 г. максимальное содержание Zn найдено в точке ДО9 (135,3 мг/кг), которая находится ниже Красноярска, а минимальное зафиксировано в точке ДО12 (45,2 мг/кг). В то же время в точке ДО13 концентрация значительно выше (104,7 мг/кг), чем в ДО12, несмотря на то, что территориально обе пробы отобраны в пределах одного острова. В 2013 г. содержание Zn в ДО было определено двумя разными методами, которые в целом показали хорошую сходимость. Максимальные концентрации Zn были обнаружены в точках ДО3, ДО4 (120,7...125,6 мг/кг), которые лежат выше по течению реки от Красноярска. В точке ДО9 содержание Zn ниже в 2 раза, чем годом ранее; оно составило, согласно результатам разных методов, 54,2...63,7 мг/кг. Таким образом, отмеченные выше изменения концентрации Zn по годам и по точкам отбора могут говорить о неоднородном характере его распределения. Концентрации Zn находятся ниже уровней ПДК и РЕС, незначительное превышение ТЕС зафиксировано в единичных точках (табл. 1). Среднее содержание Zn отражает величины, характерные для сибирских рек [7, 13],

Таблица 1. Содержание тяжёлых металлов в поверхностном слое донных отложений реки Енисей в 2012–2013 гг.**Table 1.** Concentration of heavy metals in surface layer of bottom sediments in the river Yenisei in 2012–2013

Пункт отбора. ДО Sampling point		Концентрация элемента, мг/кг/Element concentration, mg/kg						
		Cu	Ni	Pb	Cd	As	Zn	Cr
		2012/2013				2013	2012/2013	
Красноярск Krasnoyarsk	1	-/12,0	-/28,0	-/7,5	-/0,03	(2,3) ²	-/46,0 (49,1)	-/24,0
	2	-	-	-	-	(2,5)	-/(62,1)	-/-
	3	-/18,4	-/56,6	-/14,3	-/н/о ³	(3,6)	-/94,0 (125,6)	-/18,5
	4	-/20,1	-/58,1	-/26,3	-/0,01	(3,3)	-/(120,7)	-/-
	5	7,6/8,4	28,0/34,3	10,1/14,7	0,75/0,05	(2,5)	55,5/57,3 (79,4)	24,7/25,5
	6	-/7,5	-/19,9	-/3,1	-/н/о	(3,2)	-/34,5 (66,4)	-/9,3
	7	-/10,7	-/27,1	-/5,6	-/н/о	(3,8)	-/30,1 (63,1)	-/17,5
	8	-/8,9	-/25,3	-/7,1	-/н/о	(2,5)	-/47,4 (44,5)	-/11,0
с. Есаулово Esaulovo	9	32,5/8,3	37,3/24,1	38,3/10,7	0,3/н/о	(2,0)	135,3/54,2 (63,7)	14,7/10,7
с. Атаманово Atamanovo	10	11,6/11,8	28,9/24,0	6,0/5,2	0,66/0,08	(3,3)	46,8/43,4 (57,3)	20,5/17,0
	11	9,1/13,4	26,1/27,5	4,6/7,8	н/о/н/о	(2,8)	55,2/63,8 (82,1)	15,1/12,6
	12	6,5/21,3	22,7/32,1	3,3/15,6	н/о/0,07	(5,4)	45,2/78,9 (98,5)	9,3/15,8
	13	25,4/17,6	41,7/26,0	24,8/10,0	1,31/0,37	(3,0)	104,7/63,5 (88,6)	30,1/24,1
	14	8,9/13,5	23,8/27,3	9,9/6,7	н/о/0,02	(3,3)	52,8/58,7 (75,0)	8,5/12,5
с. Б. Балчуг B. Balchug	15	12,0/23,2	33,7/38,8	7,3/10,1	0,78/0,32	(4,2)	75,7/110,8 (90,4)	25,4/27,6
	16	10,2/14,6	29,0/26,4	5,9/9,0	0,63/0,07	(2,9)	58,9/78,4 (90,8)	21,6/10,2
	17	10,7/12,7	38,2/28,5	16,4/6,6	1,06/0,20	(2,7)	110,8/51,2 (58,8)	27,6/23,3
Сред. знач. ±SD / Average value ±SD		13,5±6,2/ 13,9±4,9	31,0±6,5/ 31,5±11,0	12,7±11,1/ 10,0±5,6	0,78±0,32/ 0,12±0,13	(3,1)±(0,8)	74,1±31,6/ 60,8±22,0(77,4±23,1)	19,8±7,6/ 17,3±6,3
ТЕС [15]		31,6	22,7	35,8	0,99	9,79	121	43,4
РЕС [15]		149	48,6	128	4,98	33	459	111
ПДК [21]		35	35	530	2	55	480	380

¹ – содержание не определялось; ² – в скобках указаны результаты нейтронно-активационного анализа; ³ – н/о – ниже предела обнаружения

¹ concentration was not determined; ² the results of neutron activation analysis are in brackets; ³ н/о below detection limit

р. Урал [2], и его концентрация на исследованном участке р. Енисей изменяется в пределах 30,1...135,3 мг/кг.

Содержание Ni за двухлетний период изменяется в разных точках от 19,9 до 58,1 мг/кг. Наибольшее содержание Ni – 56,6 и 58,1 мг/кг обнаружено для ДО3, ДО4, расположенных выше по течению крупных промышленных предприятий. В то же время можно отметить, что для большинства точек концентрация Ni выше уровня ТЕС (рис. 2), а в некоторых случаях превышает уровни РЕС и ПДК для тяжёлых металлов в донных отложениях. Содержание Ni в одном пункте отбора так же варьируется: для точек ДО12, ДО13 (с. Атаманово) в 2012 г. концентрация отличалась почти в 2 раза (22,7 и 41,7 мг/кг), а в 2013 г. имела близкие значения 32,1 и 26,0 мг/кг, соответственно. Средние значения за 2012–2013 гг. идентичны и составили 31 мг/кг. Похожие результаты по содержанию Ni были получены в работе [7] для рек Сибири (10...40 мг/кг); для ДО водных объектов республики Дагестан (45...121 мг/кг) [6] и Украины (81,7 мг/кг) [18] характерны более высокие концентрации.

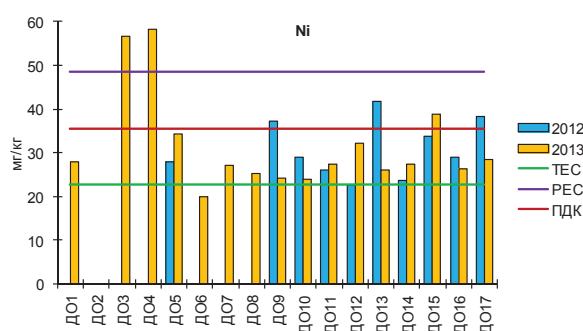


Рис. 2. Сравнение содержания никеля в пробах донных отложений р. Енисей, отобранных в разных районах реки в 2012–2013 гг., с предельными уровнями концентраций

Fig. 2. Comparison of nickel concentration in samples of bottom sediments in the river Yenisei, taken in different regions of the river in 2012–2013, with maximum concentration level

Содержание As в проанализированных пробах не превышает нормативов: минимальное содержание As зафиксировано в точке ДО9 (2,0 мг/кг), наибольшее – в точке ДО12 (5,4 мг/кг), которая на-

ходится в зоне воздействия промышленных предприятий. Для сравнения в ДО р. Северский Донец, протекающей по югу Восточно-Европейской равнины (Россия и Украина), авторами [18] определено содержание As на порядок выше – 75,7 мг/кг.

Средние значения концентраций Cu, Cr и Pb за период между отборами изменились незначительно (в 2012 г. 13,5; 19,8; 12,7 мг/кг и в 2013 г. 13,9; 17,3; 10,0 мг/кг) и не превышают уровней ПДК и РЕС. Однако значения по точкам отбора неоднородны: Cu – 6,5...32,5 мг/кг, Cr – 8,5...30,1 мг/кг, Pb – 3,1...38,3 мг/кг без проявления каких-либо закономерностей. В 2012 г. в точке ДО9, ниже Красноярска, содержание Pb превысило ТЕС – 38,3 мг/кг, а годом позднее составило только 10,7 мг/кг. Как было сказано выше, точки ДО12, ДО13 территориально близки друг к другу, но концентрация Pb отличается в 7,5 раз в 2012 г. (3,3 и 24,8 мг/кг). В 2013 г. содержание Pb в ДО12 в 5 раз выше (15,6 мг/кг), а в ДО13 в 2,5 раза ниже (10,0 мг/кг), чем годом ранее. Содержание Cu, Cr и Pb в донных отложениях р. Енисей не превышает нормативов [21] (для точки ДО9 по содержанию Cu и Pb в 2012 г. можно отметить лишь превышение уровней ТЕС) и находятся в тех же пределах или ниже значений, установленных авторами других работ для р. Амур [5] (Cu до 150 мг/кг, Pb до 160 мг/кг), р. Урал [2] (Cu – 24...48 мг/кг, Pb – 8,8...152,5 мг/кг), р. Васюган [13] (Cu – 28, Cr – 113, Pb – 20 мг/кг). Для сравнения, диапазоны содержания указанных элементов в поверхностных донных отложениях р. Луаньхэ (Китай), для которой характерна высокая степень антропогенной нагрузки, по данным работы авторов [17] составили (мг/кг): Cu – 4,8...37,5, Cr – 61,5...275,3, Pb – 11,5...54,4, Ni – 4,0...58,8, Zn – 58,6...278,6. При этом авторами [17] отмечено, что более высокий уровень загрязнения тяжёлыми металлами наблюдается для проб, отобранных ниже по течению от места сброса стоков. Более высокие концентрации Zn, Cu, Pb, по сравнению с р. Енисей, определены в донных отложениях речных систем Японии [16]: Zn – 381,1, Cu – 133,0, Pb – 40,8 мг/кг.

Концентрация Cd сильно варьируется по годам и точкам отбора, порой превышая пороговые концентрации ТЕС (табл. 1). Максимальные значения в 2012 и 2013 гг. обнаружены для точки ДО13 – 1,31 и 0,31 мг/г соответственно, в то время как в некоторых точках содержание Cd в ДО ниже предела обнаружения. Среднее содержание Cd составило 0,78 мг/кг в 2012 г., что более чем в 6 раз превышает среднее значение за 2013 г. (0,12 мг/кг). Данный факт свидетельствует о наличии повышенной антропогенной нагрузки в 2012 г. Содержание Cd на уровне 0,7...2 мг/кг отмечено авторами [2, 5] для некоторых речных систем России.

В работе [1] дана оценка антропогенного загрязнения р. Енисей в двух точках – выше и ниже Красноярска. Для донных отложений ниже Красноярска авторами [1] показано повышенное содер-

жание Cu, Pb и Zn, но не превышающее уровень негативного воздействия на биоту ТЕС. Сравнивая установленные в настоящей работе концентрации элементов (табл. 1) с результатами, полученными ранее в 1997–2003 гг. [1, 11], можно отметить, что концентрации Ni, Cu, Pb, Zn, Cr находятся в том же диапазоне значений. Распределение указанных элементов в донных отложениях вдоль течения р. Енисей, по всей видимости, имеет «пятнистый» характер, когда концентрации металлов в соседних точках различаются в несколько раз, и не позволяют достоверно оценить уровень антропогенной нагрузки.

В табл. 2 представлены данные о концентрации химических элементов, полученные нейтронно-активационным анализом в пробах, отобранных в 2013 г. Содержание многих из приведённых элементов в р. Енисей ранее не определяли. По предельному содержанию данных элементов в ДО нормативные документы отсутствуют. Поэтому проводили сопоставление результатов, полученных в разных точках между собой. Анализ изменений концентраций U по точкам отбора показал, что серьезных отличий не выявлено. Можно отметить, более высокое среднее содержание U в точках, находящихся в районах населённых пунктов с. Атаманово и с. Б. Балчуг (ДО10–ДО17), но с учётом ошибки среднего эта разница незначительна. Наибольшие значения Th, определённые в точках ДО10, ДО15 (7,8 мг/кг), в 2–2,5 раза превышают минимальные значения Th, обнаруженные в точках ДО7 (3,1 мг/кг), ДО9 (3,5 мг/кг), которые могут быть приняты как фоновые значения по данному элементу для р. Енисей.

Интересная ситуация наблюдается с распределением Sr по точкам отбора. Минимальное значение, зафиксированное для ДО17 (169 мг/кг), в 3–4 раза ниже максимальных значений, обнаруженных в районе островов г. Красноярска ДО6, ДО7 (504 и 789 мг/кг). В остальных точках значения изменяются в диапазоне 200...350 мг/кг. Среднее содержание Sr по всем точкам составило 314 мг/кг, что соответствует диапазонам для других речных систем Сибири, например р. Васюган с притоками – 273 мг/кг [13].

Содержание Cs в районе с. Атаманово и с. Б. Балчуг (ДО11–ДО17) в 1,5–2 раза выше значений по другим точкам. Минимальные значения обнаружены для точек ДО7 и ДО8 (1,2 мг/кг), находящихся в черте Красноярска. Содержания Eu в ДО р. Енисей невелики: минимальное значение обнаружено в точке ДО8 (0,8 мг/кг), а максимальное, как и в случае с Cs, – в точке ДО15 (1,6 мг/кг).

В случае La наименьшие значения обнаружены для точек ДО7 (13,9 мг/кг) и ДО9 (14,6 мг/кг), которые могут быть приняты за фоновые, а наибольшие в точках ДО15 (29,0 мг/кг) и ДО10 (28,0 мг/кг) в 2 раза превышают фон. Средняя концентрация La составила 21,6 мг/кг.

Среднее содержание Sb составляет 0,86 мг/кг, при этом максимальное количество обнаружено в

Таблица 2. Содержание химических элементов в донных отложениях р. Енисей, отобранных в 2013 г.¹**Table 2.** Concentration of chemical elements in bottom sediments of the river Yenisei taken in 2013¹

Пункт отбора Sampling point	Концентрация элемента, мг/кг (г/кг ²)/Element concentration, mg/kg (g/kg ²)																	
	Ca	Fe	Na	Sr	U	Th	Rb	Cs	Eu	La	Sb	Co	Sm	Ce	Ba	Nd	Sc	
Красноярск Krasnoyarsk	ДО1	43,5	30,1	19,1	357	1,5	3,9	38,3	1,4	1,2	19,3	0,72	11,2	3,7	40,5	357	18,7	11,1
	ДО2	45,5	35,6	20,3	248	2,1	4,8	48,0	1,7	1,1	22,7	0,80	13,1	4,3	41,3	376	27,8	12,5
	ДО3	21,8	32,2	13,5	253	2,7	4,8	51,4	1,6	1,3	23,8	1,03	13,7	4,5	42,6	373	19,6	10,5
	ДО4	28,3	30,9	17,5	260	1,9	4,1	48,0	1,4	1,1	20,0	0,93	13,9	3,4	41,9	422	18,3	10,8
	ДО5	27,9	36,3	21,3	353	2,0	3,8	53,4	1,3	1,2	17,8	0,84	13,3	3,7	37,4	546	15,0	12,0
	ДО6	27,9	31,8	20,4	504	1,8	4,1	49,8	1,7	1,0	21,2	0,92	10,7	3,9	43,2	529	16,5	11,3
	ДО7	56,4	32,3	13,6	789	1,9	3,1	44,2	1,2	0,9	13,9	0,75	10,1	3,0	31,7	430	16,1	9,3
	ДО8	16,2	26,2	19,6	295	1,3	3,8	53,3	1,2	0,8	16,7	0,82	9,3	3,2	35,4	380	15,2	9,1
с. Есаулово Esaulovo	ДО9	19,8	29,2	18,7	306	1,7	3,5	51,1	1,7	1,0	14,6	0,91	10,4	3,1	33,6	421	13,0	9,4
с. Атаманово Atamanovo	ДО10	19,7	40,1	19,5	236	1,6	7,8	59,1	1,4	1,4	28,0	0,63	14,2	4,6	57,5	459	21,8	12,3
	ДО11	19,9	34,4	19,4	327	3,0	4,8	55,7	2,0	1,0	21,6	0,66	11,8	4,5	47,5	401	26,2	11,9
	ДО12	21,1	40,1	17,1	198	3,3	5,7	58,5	2,5	1,4	25,8	0,97	14,7	5,4	54,5	440	24,5	14,0
	ДО13	18,6	35,2	16,9	281	2,9	6,0	46,1	2,1	1,4	24,4	1,07	12,9	4,7	53,4	438	27,0	12,7
	ДО14	17,9	31,7	18,4	187	2,3	4,6	54,4	2,5	1,0	22,2	1,10	12,7	4,3	45,7	449	20,2	11,5
с. Б. Балчуг B. Balchug	ДО15	20,5	44,2	17,3	218	2,3	7,8	68,8	3,0	1,6	29,0	1,23	18,6	5,5	59,7	462	25,8	15,5
	ДО16	19,2	35,5	19,9	359	2,6	4,4	64,3	2,5	1,2	24,1	0,61	13,1	4,9	52,4	492	18,7	12,6
	ДО17	19,3	35,5	21,1	169	1,7	5,6	48,3	2,0	1,2	22,3	0,71	12,8	4,5	49,0	401	18,9	12,8
Сред. знач. ±SD Average value ±SD	26,0± 11,5	34,2± 4,4	18,4± 2,3	314± 147	2,2± 0,6	4,9± 1,4	52,5± 7,4	1,8± 0,5	1,2± 0,2	21,6± 4,2	0,86± 0,18	12,7± 2,2	4,2± 0,8	45,1± 8,4	434± 53	20,2± 4,6	11,7± 1,7	

¹ – результаты получены нейтронно-активационным анализом; ² – концентрация Ca, Fe, Na в г/кг¹ results obtained by neutron activation analysis; ² Ca, Fe, Na concentration in g/kg

точке ДО15 (1,23 мг/кг). Содержание Со варьируется от 9,3 (ДО8) до 18,6 мг/кг (ДО15), что мало отличается от результатов, полученных в 1997–2003 гг. [11], и по порядку значений соответствуют показателям для рек Сибири [13]. Содержание Се в зоне влияния ГХК – ДО10–ДО17 (45,7...59,7 мг/кг) несколько превосходит значения, найденные выше по течению реки ДО1–ДО9 (31,7...42,6 мг/кг). Средняя концентрация Се составила 45,1 мг/кг и соответствует среднему значению, полученному для речных систем Японии [16].

Анализ макроэлементов (табл. 2) показал, что содержание Са в 2013 г. выше значений, определенных для р. Енисей ранее [1, 11]. При среднем значении 26,0 г/кг, наибольшие концентрации зафиксированы в точках ДО1, ДО2, ДО7 (до 56,4 г/кг). Минимальное содержание Fe зафиксировано в точке ДО8 (26,2 г/кг), максимальное для ДО15 (44,2 г/кг). Концентрация Na изменяется в диапазоне от 13,5 до 21,3 г/кг, не проявляя каких-либо закономерностей.

Таким образом, в донных отложениях р. Енисей на участке протяженностью более 100 км в районе г. Красноярска определено содержание 24 элементов. Максимальные концентрации (13,5...56,4 г/кг)

характерны для макроэлементов Na, Ca, Fe, что соответствует их высокому содержанию в глинистых и песчаных породах [22]. Ba и Sr присутствуют в количестве 169...546 мг/кг, что на порядок выше содержания остальных микроэлементов. Распределение тяжёлых металлов имеет неоднородный характер, когда в близлежащих точках значения могут отличаться в несколько раз, что не дает в полной мере оценить влияние деятельности промышленных предприятий. Концентрации Cd и Ni в некоторых точках могут превышать пороговые значения, выше которых для биоты могут проявляться негативные эффекты. Отмечены более высокие концентрации U, Th, Ce, Cs вблизи населенных пунктов с. Атаманово и с. Б. Балчуг, чем выше по течению. Для исследованных металлов критических превышений, аномалий или явных закономерностей влияния промышленных предприятий региона на элементный состав донных отложений не выявлено.

Авторы выражают благодарность сотрудникам аналитической лаборатории ИБФ СО РАН, с.н.с. лаборатории радиоэкологии ИБФ СО РАН Т.А. Зотиной и профессору ФГАОУ ВО НИ ТПУ Л.П. Рихванову за помощь в проведении аналитических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка антропогенного загрязнения р. Енисей по содержанию металлов в основных компонентах экосистемы на участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска О.В. Анищенко, М.И. Гладышев, Е.С. Кравчук, Г.С. Калачёва, И.В. Грибовская // Журнал СФУ. Биология. – 2010. – Т. 3. – № 1. – С. 82–98.
2. Кузина Г.Ш., Янтурин С.И. Исследование загрязнения тяжёлыми металлами донных отложений верхнего течения р. Урал // Вестник ОГУ. – 2009. – № 6. – С. 582–584.
3. Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Солдатова Е.А. Подвижность химических элементов в системе вода – донные отложения // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 45–51.
4. Формы нахождения микроэлементов в донных отложениях Ивановского водохранилища / О.А. Липатникова, Д.В. Гричук, И.Л. Григорьева, А.И. Хасанова, Т.В. Шестакова, А.Ю. Бычков, С.М. Ильина, В.В. Пухов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2014. – № 1. – С. 37–48.
5. Чухлебова Л.М., Бердников Н.В. Особенности накопления тяжёлых металлов в воде, донных отложениях и мышцах рыб среднего течения р. Амур // Региональные проблемы. – 2011. – Т. 14. – № 1. – С. 54–58.
6. Микроэлементы и тяжёлые металлы в воде и донных отложениях коллекторно-дренажной сети Дагестана / Ш.К. Салихов, Р.Р. Баширов, А.З. Магомедалиев, К.Б. Гимбатова, Ж.О. Шайхалова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 95. – С. 742–767. URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/48.pdf> (дата обращения: 20.11.2014).
7. Темерев С.В. Оценка экологического состояния речных систем (Западная Сибирь, Средняя Обь) // Изв. Алт. гос. ун-та. – 2005. – № 3. – С. 45–49.
8. Гапеева М.В. Тяжёлые металлы в воде и донных отложениях Рыбинского водохранилища // Вода: химия и экология. – 2013. – № 5. – С. 3–7.
9. Бикташева Ф.Х., Латыпова Г.Ф. Загрязнение тяжёлыми металлами поверхностной воды и донных отложений озера Асылкуль республики Башкортостан // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2. – С. 170–172.
10. Bogush A.A., Lazareva E.V. Behavior of heavy metals in sulfide mine tailings and bottom sediment (Salair, Kemerovo region, Russia) // Environmental Earth Sciences. – 2011. – V. 64. – Iss. 5. – P. 1293–1302.
11. Радиологический мониторинг реки Енисей и цитогенетические характеристики водного растения *Elodea canadensis* / А.Я. Болсуновский, Е.Н. Муратова, А.Г. Суковатый, А.В. Пшенинов, Е.А. Санжараева, Т.А. Зотина, Т.С. Седельникова, Е.В. Паньков, М.Г. Корнилова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т. 47. – № 1. – С. 63–73.
12. Зубарев В.А. Анализ тяжелых металлов донных отложений малых рек, подверженных влиянию сельскохозяйственной мелиорации, на территории Среднеамурской низменности // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 203–208.
13. Савичев О.Г., Базанов В.А. Химический состав донных отложений реки Васюган и ее притоков // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 3. – С. 37–41.
14. Burton G.A., Jr. Sediment quality criteria in use around the world // Limnology. – 2002. – V. 3. – Iss. 2. – P. 65–76.
15. MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2000. – V. 39. – Iss. 1. – P. 20–31.
16. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river / K.M. Mohiuddin, H.M. Zakir, K. Otomo, S. Sharmin, N. Shikazono // International Journal of Environmental Science & Technology. – 2010. – V. 7. – Iss. 1. – P. 17–28.
17. Multivariate Statistical Analysis and Risk Assessment of Heavy Metals Monitored in Surface Sediment of the Luan River and its Tributaries, China / Z.-M. Wang, L.-D. Chen, H.-P. Zhang, R.-H. Sun // Human and Ecological Risk Assessment. – 2014. – V. 20. – Iss. 6. – P. 1521–1537.
18. Distribution of trace elements in waters and sediments of the Siversky Donets transboundary watershed (Kharkiv region, Eastern Ukraine) / Y. Vystavna, F. Huneau, J. Schäfer, M. Motelica-Heino, G. Blanc, A. Larrose, Y. Vergeles, D. Diadin, P. Le Coustumer // Applied Geochemistry. – 2012. – V. 27. – Iss. 10. – P. 2077–2087.
19. Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: their relations to environmental factors / J. Fu, C. Zhao, Y. Luo, C. Liu, G.Z. Kyzas, Y. Luo, D. Zhao, Sh. An, H. Zhu // Journal of hazardous materials. – 2014. – V. 270. – P. 102–109.
20. Natural heavy metal and metalloid concentrations in sediments of the Minho River estuary (Portugal): baseline values for environmental studies / M. Mil-Homens, A.M Costa., S. Fonseca, M.A. Trancoso, C. Lopes, R. Serrano, R. Sousa // Environmental monitoring and assessment. – 2013. – V. 185. – Iss. 7. – P. 5937–5950.
21. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга: региональный норматив. – СПб.: Ленморниипроект, 1996. – 17 с.
22. Григорьев Н.А. О кларковом содержании химических элементов в верхней части континентальной коры // Литосфера. – 2002. – № 1. – С. 61–71.

Поступила 27.11.2014 г.

UDC 550.422(571.51+282.256.3)

CONCENTRATIONS OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE YENISEI RIVER NEAR KRASNOYARSK

Dmitry V. Dementyev,

Institute of Biophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
50/50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia.
E-mail: dementyev@gmail.com

Aleksander Ya. Bolsunovsky,

Institute of Biophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
50/50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia. E-mail: radecol@ibp.ru

Roman V. Borisov,

Institute of Biophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
50/50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia; Institute of Chemistry
and Chemical Technology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
50/24, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia.
E-mail: roma_boris@list.ru

Elena A. Trofimova,

Institute of Biophysics Siberian Branch Russian Academy of Sciences, 50/50,
Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia.
E-mail: e.trofimova11@yandex.ru

The relevance of the study is determined by the necessity to obtain information on concentrations of chemical elements in sediments of the Yenisei River under impacts of continuous human activity.

The aim of the study is to assess the level of human-caused heavy metal pollution of the Yenisei River bottom sediments near Krasnoyarsk.

Methods used in the study. Metal concentrations (Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd) were measured with an AAS Kvant 2A atomic absorption spectrophotometer in the Analytical Laboratory of IBP SB RAS. Concentrations of Ca, Fe, Na, Sr, U, Th, Rb, Cs, Eu, La, Sb, Co, Sm, Ce, Ba, Nd, Sc, As, Zn were measured using instrumental neutron activation analysis in the research reactor in National Research Tomsk Polytechnic University.

Results. The authors have determined concentrations of 24 chemical elements in bottom sediments over 100 km of the Yenisei River near Krasnoyarsk. The distribution of heavy metals is non-uniform: concentrations of chemical elements in adjacent parts of sediments could differ by several times. In some regions Cd and Ni concentrations were higher than the threshold levels, above which adverse effects might occur. Zn, Cu, Cr, and Pb concentrations in bottom sediments of the Yenisei River fall within the range of average concentrations of these metals in other Russian river systems. Concentrations of U, Th, Ce, and Cs increased downstream of Krasnoyarsk. The study did not detect any critical or abnormally high concentrations of the metals measured; no definite effects of industrial pollution on the chemical composition of bottom sediments were either revealed.

Key words:

Bottom sediments, heavy metals, lanthanides, actinides, screening, the Yenisei River.

The authors give thanks to the scientists of analytical laboratory of IB SB RAS, T.A. Zotina, senior scientist of radioecology of IB SB RAS, and professor L.P. Rikhvanov (National Research Tomsk Polytechnic University) for assistance in analytical study.

REFERENCES

1. Anishchenko O.V., Gladyshev M.I., Kravchuk E.S., Kalacheva G.S., Gribovskaya I.V. Otsenka antropogennogo zagryazneniya r. Enisey po sodержaniyu metallov v osnovnykh komponentakh ekosistemy na uchastkakh, raspolozhennykh vyshe i nizhe g. Krasnoyarska [Assessment of the Yenisei River Anthropogenic Pollution by Metals Concentrations in the Main Ecosystem Compartments Upstream and Downstream Krasnoyarsk]. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2010, vol. 3, no. 1, pp. 82–98.
2. Kuzhina G.Sh., Yanturin S.I. Issledovanie zagryazneniya tyazhelyimi metallami donnykh otlozheniy verhnego techeniya r. Ural [Investigation of heavy metal contamination of sediments of the upper reaches of the river Ural]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 6, pp. 582–584.
3. Guseva N.V., Kopylova Yu.G., Soldatova E.A. Podvizhnost khimicheskikh elementov v sisteme voda – donnye otlozheniya [The mobility of chemical elements in the water–sediment system]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 45–51.
4. Lipatnikova O.A., Grichuk D.V., Grigoreva I.L., Khasanova A.I., Shestakova T.V., Bychkov A.Yu., Ilina S.M., Pukhov V.V. Formy nakhozhdeniya mikroelementov v donnykh otlozheniyakh Ivankovskogo vodokhranilishcha [Forms of occurrence of trace elements in sediments of the reservoir Ivankovskoye]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*, 2014, no. 1, pp. 37–48.

5. Chukhlebova L.M., Berdnikov N.V. Osobennosti nakopleniya tyazhelykh metallov v vode, donnykh otlozheniyakh i myshtsakh ryb srednego techeniya r. Amur [Features of heavy metals accumulation in water, sediment and fish muscle in middle reaches of Amur]. *Regionalnye problemy*, 2011, vol. 14, no. 1, pp. 54–58.
6. Salikhov Sh.K., Bashirov R.R., Magomedaliev A.Z., Gimbatova K.B., Shaykhalova Zh.O. Mikroelementy i tyazhelye metally v vode i donnykh otlozheniyakh kollektorno-drenazhnoy seti Dagestana [Trace elements and heavy metals in water and sediments of drainage network in Dagestan]. *Politematicheskii setevoy elektronny nauchny zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, vol. 95, pp. 742–767. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/48.pdf> (accessed 20 November 2014).
7. Temerev S.V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya rechnykh sistem (Zapadnaya Sibir, Srednyaya Ob) [Estimation of ecological situation of river systems (Western Siberia, Central Ob)]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005, no. 3, pp. 45–49.
8. Gapeeva M.V. Tyazhelye metally v vode i donnykh otlozheniyakh Rybinskogo vodokhranilishcha [Heavy metals in water and sediments of the Rybinsk Reservoir]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2013, no. 5, pp. 3–7.
9. Biktasheva F.Kh., Latypova G.F. Zagryaznenie tyazhelymi metallami poverkhnostnoy vody i donnykh otlozheniy ozera Asylykul respubliky Bashkortostan [The pollution with heavy metals the surface of water and sediments in Lake Asylykul, Republic of Bashkortostan]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 2, pp. 170–172.
10. Bogush A.A., Lazareva E.V. Behavior of heavy metals in sulfide mine tailings and bottom sediment (Salair, Kemerovo region, Russia). *Environmental Earth Sciences*, 2011, vol. 64, Iss. 5, pp. 1293–1302.
11. Bolsunovskiy A.Ya., Muratova E.N., Sukovaty A.G., Pimenov A.V. Radiologicheskii monitoring reki Enisey i tsitogenicheskie kharakteristiki vodnogo rasteniya *Elodea Canadensis* [Radiological monitoring of the Yenisei River and cytogenetic characteristics of aquatic plant of *Elodea Canadensis*]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2007, vol. 47, no. 1, pp. 63–73.
12. Zubarev V.A. Analiz tyazhelykh metallov donnykh otlozheniy malyykh rek, podverzhennykh vliyaniyu selskohozyaystvennoy melioratsii, na territorii Sredneamurskoy nizmennosti [Analysis of heavy metal sediments of small rivers exposed to agricultural reclamation in the territory of the Sredneamurskaya lowlands]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 203–208.
13. Savichev O.G., Bazanov V.A. Khimicheskiy sostav donnykh otlozheniy reki Vasyugan i ee pritokov [The chemical composition of bottom sediments of the river Vasyugan and its tributaries]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2006, vol. 309, no. 3, pp. 37–41.
14. Burton Jr. G.A. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 2002, vol. 3, Iss. 2, pp. 65–76.
15. MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, vol. 39, Iss. 1, pp. 20–31.
16. Mohiuddin K.M., Zakir H.M., Otomo K., Sharmin S., Shikazono N. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2010, vol. 7, Iss. 1, pp. 17–28.
17. Wang Z.-M., Chen L.-D., Zhang H.-P., Sun R.-H. Multivariate Statistical Analysis and Risk Assessment of Heavy Metals Monitored in Surface Sediment of the Luan River and its Tributaries, China. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2014, vol. 20, Iss. 6, pp. 1521–1537.
18. Vystavna Y., Huneau F., Schäfer J., Motelica-Heino M., Blanc G., Larrose A., Vergeles Y., Diadin D., Le Coustumer P. Distribution of trace elements in waters and sediments of the Severisky Donets transboundary watershed (Kharkiv region, Eastern Ukraine). *Applied Geochemistry*, 2012, vol. 27, Iss. 10, pp. 2077–2087.
19. Fu J., Zhao, C., Luo, Y., Liu, C., Kyzas G.Z., Luo Y., Zhao D., An Sh., Zhu H. Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: their relations to environmental factors. *Journal of hazardous materials*, 2014, vol. 270, pp. 102–109.
20. Mil-Homens M., Costa A.M., Fonseca S., Trancoso M.A., Lopes C., Serrano R., Sousa R. Natural heavy metal and metalloid concentrations in sediments of the Minho River estuary (Portugal): baseline values for environmental studies. *Environmental monitoring and assessment*, 2013, vol. 185, Iss. 7, pp. 5937–5950.
21. *Normy i kriterii otsenki zagryaznennosti donnykh otlozheniy v vodnykh obektakh Sankt-Peterburga: regionalny normativy* [Norms and criteria of assessing bottom sediments contamination in water objects of Saint-Petersburg: regional norms]. St-Petersburg, Lenmorniiiproekt Publ., 1996. 17 p.
22. Grigorev N.A. O klarkovom sodержanii khimicheskikh elementov v verkhney chasti kontinentalnoy kory [About clark content of chemical elements in the upper continental crust]. *Lithosphere*, 2002, no. 1, pp. 61–71.

Received: 27 November 2014.