

УДК 543.3:556:53(282.25)

СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ ЗАПАСОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОБИ – САМСОНОВСКАЯ, ЛЕВ И ВАНДРАС

Алимова Г.С., Земцова Е.С., Токарева А.Ю.

*ФГБУН «Тобольская комплексная научная станция» Уральского отделения
Российской академии наук (ТКНС УрО РАН), Тобольск, e-mail: gulsem76@mail.ru*

Расчет кларков концентраций тяжелых металлов (Zn, Pb, Ni, Cu, Sr, Cr, Mn), выявленных атомно-эмиссионным анализом в донных отложениях малых рек бассейна Верхней Оби – Самсоновская, Лев, Вандрас, показал превышение кларка по свинцу в 2–5 раз. На основе ранее установленных уравнений полинома второй степени, характеризующих пространственное распределение тяжелых металлов на протяженном участке рек Самсоновская – Лев – Вандрас, проведен расчет интегральных запасов тяжелых металлов в донных отложениях. Интегральная оценка запасов металлов показала, что средняя плотность запасов металлов в границах рек Самсоновская и Лев выше по сравнению с р. Вандрас. Распределение средней плотности запасов меди, цинка и никеля в донных отложениях исследуемых рек подчиняется правилу Оддо – Гаркинса. Максимальные значения концентраций тяжелых металлов наблюдаются на участках рек с гранулометрическим составом донных отложений, в которых преобладают частицы размером менее 0,005 мм.

Ключевые слова: донные отложения, бассейн Верхней Оби, тяжелые металлы, кларк концентрации, средняя плотность запасов тяжелых металлов, гранулометрический состав

MEDIUM DENSITY OF HEAVY METALS STOCKS IN BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL RIVERS THE BASIN OF THE UPPER OB – SAMSONOVSKAYA, THE LEV AND THE VANDRAS

Alimova G.S., Zemtsova E.S., Tokareva A.Yu.

*Tobolsk complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Tobolsk, e-mail: gulsem76@mail.ru*

The calculation of the Clark concentrations of heavy metals (Zn, Pb, Ni, Cu, Sr, Cr, Mn) detected atomic emission analysis in the bottom sediments of small rivers in the basin of the Upper Ob – Samsonovskaya, Lev, Vandras showed exceeding Clark on lead by 2–5 times. On the basis of previously established equations of the second degree polynomial describing the spatial distribution of heavy metals in the long section of the rivers Samsonovskaya – Lev – Vandras, the calculation of the integral reserves of heavy metals in the sediments. Integrated stock assessment of metals have shown that the average density of metal reserves within the borders of the rivers the Samsonovskaya and the Lev higher compared to river the Vandras. The distribution of the average density of reserves of copper, zinc and nickel in the bottom sediments of the studied rivers is subject to the rule Oddo-Harkins. The maximum concentrations of heavy metals observed in the river sections with the granulometric composition of bottom sediments, which are dominated by particles smaller than 0,005 mm.

Keywords: bottom sediments, the basin of the Upper Ob, heavy metals, clark of concentration, the average density of the stocks of heavy metals, particle size distribution

Бассейн Верхней Оби расположен на территории Западной Сибири, где активно развивается нефтегазодобывающая отрасль промышленности. Побочным последствием технического роста региона является загрязнение водоемов, почв различными химическими поллютантами, в том числе и тяжелыми металлами (ТМ). Река Обь относится к числу крупнейших рек Западной Сибири. Площадь бассейна Оби составляет 2990 тыс. кв. км. По этому показателю река занимает первое место в России [9]. Бассейн реки Оби изобилует малыми и крупными реками, озерами и болотами. Они способствуют активной миграции химических загрязнений (тяжелых металлов, нефтепродуктов и т.п.), поступающих в реку Обь, которая выносит их в Обскую губу и далее в Ледовитый океан, подвергая опас-

ности разрушения экосистем, удаленных от районов нефтегазового комплекса.

Реки Самсоновская, Лев, Вандрас находятся в бассейне Верхней Оби, в южной части Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) Тюменской области. Воды рек Самсоновская, Лев, Вандрас через реку Большой Салым впадают в реку Обь. Река Самсоновская является правым притоком реки Лев, река Лев – правый приток реки Вандрас, река Вандрас – правый приток реки Большой Салым. Исследуемые притоки бассейна Верхней Оби относят к малым рекам, так, протяженность реки Лев составляет 77 км, реки Самсоновская – 74 км, реки Вандрас – 113 км [1].

Донные отложения (ДО) малых рек в данном регионе недостаточно изучены [1].

ДО, вследствие малой скорости перемещения по сравнению с водными массами, могут сохранять достоверную информацию о внешнем воздействии в конкретном районе [3]. Содержание ТМ в ДО зависит от гранулометрического состава грунтов и может отличаться не только в разных водных объектах, но и на отдельных участках одного водоема [2, 3, 6].

Ранее авторами впервые было изучено пространственное распределение тяжелых металлов (ТМ) в донных отложениях (ДО) малых рек Самсоновская, Лев, Вандрас. Атомно-эмиссионным методом на спектрометре OPTIMA-7000 DV определено валовое содержание ТМ (Zn, Pb, Ni, Cu, Sr, Cr, Mn). В результате регрессионного анализа получены математические уравнения полинома второй степени, характеризующие пространственное распределение выявленных ТМ на протяженном участке рек Самсоновская – Лев – Вандрас, общей длиной 86 км от места слияния рек Большой Салым и Вандрас. Величина достоверности аппроксимации составила $R^2 = 0,59...0,89$. Количественное определение ТМ в течение 2012–2014 гг. показало превышение регионального фона по соединениям свинца в донных отложениях исследуемых рек. Для соединений свинца (фон – 20 мг/кг): в р. Самсоновская – в 2,6...3,8 раза, в р. Лев – в 2 раза, в р. Вандрас – в 1,7...3,1 раза [1].

Целью работы является определение кларков концентраций и оценка интегральных запасов выявленных ТМ в ДО на участках рек Самсоновская, Лев и Вандрас с разным гранулометрическим составом.

Материалы и методы исследования

В июле 2012–2014 гг. проведены экспедиционные работы по отбору проб ДО в реках Самсоновская, Лев, Вандрас в ХМАО. Географические координаты станций отбора проб ДО определены при помощи спутниковой навигационной системы GPSMAP 62s и приведены в табл. 1 [1].

Методы отбора и количественный химический анализ проб ДО, статистическая обработка данных описаны в [1]. Количественное определение фракций песчаной, глинистой и пылевой частиц в гранулометрическом составе ДО выполнено по методу Рутковского, а классификация грунтов – по В.В. Охотину [4]. Расчет средней плотности запасов ТМ пойменных почв и ДО рек проведен путем интегрирования уравнения зависимости средней концентрации металла от протяженного участка реки по формуле в соответствии с [6]:

$$Q = b \cdot \rho_{\text{до}} \cdot \int_{L_1}^{L_2} y(l) dl, \quad (*)$$

где Q – средняя плотность запасов металла на участке от L_2 до L_1 , г/м²; L_1 и L_2 – линейное расстояние между двумя последовательными станциями отбора проб (в зависимости от линейного расстояния от места слияния рек Большой Салым и Вандрас – данная точка принята за условную нулевую отметку по табл. 1), км; b – усредненная ширина русла реки, для линейного расстояния между станциями отбора проб В2 – В1 – $b = 34$ м, Л2 – В1 – $b = 30$ м, Л1 – Л2 – $b = 25$ м, С1 – Л1 – $b = 27$ м, С2 – С1 – $b = 29$ м. Определение b проведено экспериментально при помощи спутниковой навигационной системы GPS навигации и компьютерной программы «Google Earth»; $\rho_{\text{до}}$ – усредненное значение плотности исследуемых проб ДО на участке от L_2 до L_1 , г/см³, $\rho_{\text{до}}$ определена экспериментально [1] для расстояния между станциями отбора проб:

$$В2 - В1 - \rho_{\text{до}} = 1,05;$$

$$Л2 - В1 - \rho_{\text{до}} = 1,26;$$

$$Л1 - Л2 - \rho_{\text{до}} = 1,31;$$

$$С1 - Л1 - \rho_{\text{до}} = 1,29;$$

$$С2 - С1 - \rho_{\text{до}} = 1,07;$$

$y(l)$ – математическое уравнение зависимости концентрации металла (в мг/кг) от протяженного участка реки, получено в результате регрессионного анализа (табл. 2 и [1]).

Результаты исследования и их обсуждение

Кларк концентрации относится к экогеологическим коэффициентам, позволяющим осуществлять оценку негативного воздействия на ДО водоемов [5]. Данный коэффициент рассчитывался как отношение содержания химического элемента в ДО к его кларку в земной коре [5, 8]. В табл. 2 представлены рассчитанные кларки концентраций (КК) ТМ в ДО исследуемого протяженного участка рек Самсоновская, Лев и Вандрас.

Таблица 1

Географические координаты станций отбора проб ДО

Водоем	Станция отбора проб ДО	Географические координаты	Линейное расстояние от места слияния рек Большой Салым и Вандрас, км [1]
р. Вандрас	В2	N60°04,125'; E071°28,729'	28
	В1	N60°04,120'; E071°28,956'	28,3
р. Лев	Л2	N60°01,344'; E071°21,974'	71
	Л1	N60°00,730'; E071°20,229'	72
р. Самсоновская	С1	N59°38,171'; E071°17,701'	85
	С2	N59°58,117'; E071°17,689'	86

Таблица 2

Содержание ТМ (в мг/кг) в донных отложениях рек Самсоновская, Лев и Вандрас (здесь в числителе – X – среднее значение, в знаменателе – кларк концентрации; σ – стандартное отклонение, в скобках – величина кларка в земной коре по Виноградову)

Станция отбора	Cr (83)		Cu (47)		Mn (1000)		Ni (58)		Pb (15)		Sr (340)		Zn (83)	
	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ
B2	$\frac{19,9}{0,2}$	0,4	$\frac{4,6}{0,1}$	0,1	$\frac{118}{0,1}$	0,2	$\frac{6,5}{0,1}$	0,0	$\frac{61,8}{4,1}$	0,0	$\frac{9,2}{0,03}$	0,4	$\frac{16,7}{0,2}$	0,2
B1	$\frac{16,4}{0,2}$	0,3	$\frac{4,2}{0,1}$	0,2	$\frac{85}{0,1}$	0,2	$\frac{5,8}{0,2}$	0,1	$\frac{34,4}{2,3}$	0,1	$\frac{7,6}{0,02}$	0,3	$\frac{17,1}{0,2}$	0,2
L2	$\frac{13}{0,2}$	0,2	$\frac{2,5}{0,1}$	0,0	$\frac{166}{0,2}$	0,2	$\frac{11}{0,2}$	0,1	$\frac{12}{0,8}$	0,1	$\frac{8,1}{0,02}$	0,2	$\frac{7,8}{0,1}$	0,3
L1	$\frac{20,1}{0,2}$	0,2	$\frac{1,4}{0,03}$	0,1	$\frac{222}{0,2}$	0,2	$\frac{7,5}{0,1}$	0,0	$\frac{44,4}{3,0}$	0,1	$\frac{9,3}{0,03}$	0,2	$\frac{24,4}{0,3}$	0,2
C1	$\frac{25,9}{0,3}$	0,2	$\frac{3,6}{0,1}$	0,1	$\frac{214}{0,2}$	0,2	$\frac{8,0}{0,1}$	0,1	$\frac{52,3}{3,5}$	0,2	$\frac{6,5}{0,02}$	0,2	$\frac{25,6}{0,3}$	0,3
C2	$\frac{32,2}{0,4}$	0,5	$\frac{3,3}{0,1}$	0,1	$\frac{341}{0,3}$	0,2	$\frac{9,5}{0,2}$	0,1	$\frac{75,5}{5,0}$	0,2	$\frac{5,7}{0,02}$	0,2	$\frac{32,5}{0,4}$	0,2

Таблица 3

Гранулометрический состав ДО рек: Самсоновская, Вандрас и Лев

Наименование водоема	Содержание фракций (минимальное значение... максимальное значение), %			Классификация грунтов (по В.В. Охотину)			
	песчаной (частицы 0,25...2 мм)	глинистой (частицы < 0,005 мм)	пылевой (частицы 0,005... 0,25 мм)	песок, %	легкая супесь, %	тяжелая супесь, %	легкий суглинок, %
Река Вандрас	50...85	3,4...6,8	10,5...45,5	–	67	33	–
Река Лев	72,5...92,5	2,3...6,8	3,2...21,8	16,5	16,5	67	–
Река Самсоновская	62,5...85	4,5...13,6	3,7...28,4	–	16,5	16,5	67

Кларки концентраций металлов – Zn, Ni, Cu, Sr, Cr, Mn не превышают среднего содержания в земной коре ($КК \ll 1$), поэтому можно предположить, что они рассеиваются в ДО [8]. Исключение составляет свинец, его концентрации выше значения кларка в ДО исследуемых рек в 2–5 раз.

Гранулометрический состав ДО исследуемых рек (Самсоновская, Лев, Вандрас) различается в зависимости от линейного расстояния от места слияния рек Большой Салым и Вандрас. ДО р. Вандрас – это легкая супесь и тяжелая супесь в соотношении 2:1. ДО р. Лев были представлены тяжелой супесью, легкой супесью и песком в соотношении 4:1:1.

В ДО р. Самсоновская наблюдается увеличение объема глинистой фракции до 13,6%, то есть содержания частиц размером менее 0,005 мм, преобладает легкий суглинок до 67% (табл. 3).

Известно, что размер частиц грунтов – один из наиболее важных факторов накопления химических элементов в ДО. Чем меньше размер частиц, тем больше их аккумулярующая емкость в отношении ТМ [2, 3]. Так анализ данных по средней плотности запасов ТМ в ДО исследуемых рек, полученных в пере-

счете на 1 метр исследуемого участка рек, выявил в ДО реки Самсоновская максимальные значения средней плотности запасов марганца – до 8,72 г/м² (табл. 4). Средняя плотность запасов соединений свинца в ДО уменьшается от участка реки Самсоновская до участка реки Вандрас – от 2,36 до 1,78 г/м². Минимальные значения Q выявлены для соединений меди на всем исследуемом протяженном участке рек – не превышают 0,16 г/м². Значения средней плотности запасов соединений никеля и стронция находятся в одном диапазоне 0,23...0,39 г/м². Средняя плотность запасов цинка и хрома в 2,5–3,5 раза выше средней плотности запасов никеля и стронция и находится в пределах 0,60...1,41 г/м².

Таким образом, на участках исследуемых рек, где ДО представлены легкой и тяжелой супесью, средняя плотность запасов ТМ ниже, чем в ДО, в которых преобладает легкий суглинок.

Следует отметить, что для рядом стоящих элементов в периодической таблице Д.И. Менделеева распределение в ДО водоемов соответствует правилу Оддо – Гаркинса [7]. Согласно данному правилу, валовая концентрация элемента, имеющего четный

Таблица 4

Средняя плотность запасов (г/м²) ТМ (Mn, Cu, Ni, Sr, Zn, Pb, Cr) в ДО рек Самсоновская, Вандрас и Лев (R^2 – коэффициент аппроксимации; в 1 колонке – значения, полученные по формуле (*) на участке от L_2 до L_1 , во 2 колонке – значения, полученные в пересчете на 1 метр исследуемого участка рек)

ТМ	Уравнение зависимости концентрации металла от протяженного участка реки, $y(l)$	R^2	Средняя плотность запасов ТМ между станциями отбора ($(L_2 - L_1)$, км), г/м ²									
			В1 – В2		Л2 – В1		Л1 – Л2		С1 – Л1		С2 – С1	
			28,3 – 28 = 0,3 км	на 1 м	71 – 28,3 = 42,7 км	на 1 м	72 – 71 = 1 км	на 1 м	85 – 72 = 13 км	на 1 м	86 – 85 = 1 км	на 1 м
Mn	$[Mn] = 0,077x^2 - 5,61x + 199,3$	0,78	1100	3,67	200786	4,70	5494	5,49	91777	7,06	8716	8,72
Cu	$[Cu] = 0,003x^2 - 0,34x + 11,6$	0,89	47,8	0,16	3523	0,08	73,6	0,07	1316	0,10	135	0,14
Ni	$[Ni] = -0,001x^2 + 0,21x + 1,40$	0,62	70,7	0,24	12982	0,30	331	0,33	4716	0,36	385	0,39
Sr	$[Sr] = -0,003x^2 + 0,33x + 1,64$	0,76	91,4	0,30	13945	0,32	277	0,28	3449	0,27	229	0,23
Zn	$[Zn] = 0,017x^2 - 1,75x + 52,5$	0,62	180	0,60	42411	0,99	1408	1,41	7923	0,61	854	0,85
Pb	$[Pb] = 0,056x^2 - 5,99x + 173$	0,59	534	1,78	34631	0,81	1031	1,03	21280	1,64	2364	2,36
Cr	$[Cr] = 0,017x^2 - 1,72x + 53,3$	0,83	197	0,66	47801	1,12	497	0,50	9142	0,70	943	0,94

порядковый номер, выше, чем у рядом стоящего элемента с нечетным порядковым номером. Например, валовая концентрация, а следовательно, и средняя плотность запасов у элемента с порядковым номером 28 (Ni) выше, чем у элемента с порядковым номером 29 (Cu). Также для элемента – 30 (Zn) средняя плотность запасов выше, чем у элемента с порядковым номером 29 (Cu) (табл. 4). Такое распределение ТМ в ДО поверхностных вод определено и в других работах [7].

Заключение

Расчет интегральных запасов ТМ в ДО показал, что средняя плотность запасов ТМ в границах рек Самсоновская и Лев выше по сравнению с р. Вандрас.

Распределение средней плотности запасов меди, цинка и никеля в ДО исследуемых рек происходит по правилу Оддо – Гаркинса. Таким образом, средняя плотность запасов элемента, имеющего четный порядковый номер, выше, чем у рядом стоящего элемента с нечетным порядковым номером. Превышение значения кларка выявлено у соединений свинца в ДО на каждом исследуемом участке рек Самсоновская, Лев и Вандрас.

Авторы выражают искреннюю благодарность коллегам – с.н.с., к.б.н. Е.И. Поповой, м.н.с., к.б.н. И.А. Дударевой, н.с., к.б.н. А.А. Чемагину за участие в отборе проб ДО.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. по теме: «Миграционные процессы радионуклидов и химических пол-

лютантов в экосистеме водоемов Обь-Иртышского бассейна» (№ государственной регистрации 116020510088).

Список литературы

1. Алимova Г.С. Особенности накопления тяжелых металлов в пойме малых рек Самсоновская, Лев, Вандрас / Г.С. Алимova, А.В. Коржавин, Е.С. Земцова, И.А. Дударева, А.Ю. Токарева, Е.И. Попова, Р.М. Сулкарнаева // В мире научных открытий. – 2014. – № 12.1 (60). – С. 233–247.
2. Земцова Е.С. Способ оценки загрязнения водных объектов тяжелыми металлами / Е.С. Земцова, Г.С. Алимova, А.Ю. Токарева, Е.И. Попова // Международный журнал экспериментального образования. – 2015 – № 11–1. – С. 71–72.
3. Земцова Е.С. Сравнительный анализ содержания металлов в донных отложениях некоторых рек Тюменской области / Е.С. Земцова, Г.С. Алимova, А.Ю. Токарева, И.А. Дударева // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–26. – С. 5798–5802.
4. Определение гранулометрического состава грунтов (методические указания) / Сост. В.В. Фурсов, М.В. Балюра. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2007. – 21 с.
5. Основы экогеологии, биоиндикации и биотестирования водных экосистем: учеб. пособие / под. ред. В.В. Куриленко. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 448 с.
6. Трапезников А.В. Радиоэкологическое исследование реки Обь и Иртыш в границах Ханты-Мансийского автономного округа / А.В. Трапезников, В.И. Мигунов, В.Н. Трапезникова, А.В. Коржавин, В.Н. Николкин // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин: сборник науч. трудов: Вып. 6 / под ред. к.б.н. В.И. Мигунова, д.б.н. А.В. Трапезникова. – Екатеринбург: ООО «Бизнес-проспект», 2005. – С. 24–42.
7. Фокин Д.П. Геоэкологическая оценка распределения тяжелых металлов и нефтепродуктов в донных осадках восточной части Финского залива Балтийского моря: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – СПб., 2011. – 18 с.
8. Шигабаева Г.Н. Корреляционный анализ содержания тяжелых металлов в донных отложениях / Г.Н. Шигабаева, Е.О. Ахтырская // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – Т. 3. – № 2 (20). – С. 55–59.
9. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна / под науч. ред. акад. Д.С. Павлова, д.б.н. А.Д. Мочка. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. – 596 с.