



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395

УДК 550.42

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ФАКТОРЫ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ В РЕЧНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ Г. УЛАН-УДЭ

Н.С. Касимов, И.Д. Корляков, Н.Е. Кошелева

Географический факультет
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Ленинские горы, Москва, Россия, 119991

Изучены распределение и факторы аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в донных отложениях р. Селенги и ее притока Уды на территории г. Улан-Удэ. Их эколого-геохимическое состояние может влиять на состояние нижнего течения р. Селенги и оз. Байкал. Отобрано 3 фоновых, 12 городских и 1 проба донных отложений ниже по течению от города. Определены основные физико-химические свойства (рН, содержание органического вещества, оксидов железа, гранулометрический состав) и валовое содержание ТММ в пробах. Для отложений рек Селенги и Уды свойственны песчаный и супесчаный гранулометрический состав, нейтральная реакция среды, низкое содержание органического вещества и Fe_2O_3 . Выше по течению от г. Улан-Удэ отложения р. Селенги и Уды обладают близким химическим составом и характеризуются рассеиванием и околочларковыми концентрациями ТММ. В пределах города и ниже по течению отложения по микроэлементному составу несущественно отличаются от фоновых, что связано с их низкой сорбционной способностью и незначительным загрязнением осаждающегося взвешенного вещества. Слабоконтрастные геохимические аномалии выявлены вблизи автомагистралей (Mo, Cd, Bi), нефтебазы «Бурят-терминал» (W, Cu, Mo, As, Sb, Pb, Bi, Cd, Co, Ni), очистных сооружений (As, W, Bi), выше по течению авиазавода (Cd) и ниже ТЭЦ-1 (W, V, Cd, Cu, Sb). Наличие корреляционных связей содержания ТММ с физико-химическими свойствами отложений указывают на то, что формирование геохимических аномалий обусловлено также присутствием сорбционно-седиментационных, хемосорбционных и биогеохимических барьеров. Для накопления аниогенного Mo большое значение имеет кислый барьер. Суммарное загрязнение отложений в пределах города и ниже по течению относится к допустимому уровню. Превышения ПДК (в 1,5–3,4 раза) в отложениях р. Селенги установлены для As. Таким образом, в г. Улан-Удэ и ниже по течению — наблюдается слабая техногенная трансформация и низкая экологическая опасность загрязнения речных отложений. Максимальные содержания ТММ локализованы на геохимических барьерах вблизи промышленных предприятий и автомагистралей.

Ключевые слова: загрязнение, тяжелые металлы и металлоиды, городские ландшафты, донные отложения, геохимические барьеры

Введение

Одним из направлений городской экогеохимии является изучение загрязнения донных отложений рек и водоемов. В донных отложениях накапливаются поллютанты, поступающие с промышленными, коммунально-бытовыми и ливне-

выми стоками. Поэтому их экологическое состояние служит интегральным показателем техногенной нагрузки на городские ландшафты [1]. Формирующиеся в реках и водоемах техногенные илы сравнивают с «бомбой замедленного действия», так как при изменении геохимической обстановки содержащиеся в них ТММ могут переходить в растворенную форму, мигрировать в речных водах и распространяться по пищевым цепям [2]. Нередко локальное загрязнение компонентов городских аквальных ландшафтов приводит к выносу поллютантов за границы города. Наиболее сильное техногенное воздействие на донные отложения наблюдается в крупных городах [1; 3; 4].

Проблема загрязнения городских донных отложений ТММ достаточно хорошо изучена в России и за рубежом. Первая группа исследований посвящена выявлению пространственных трендов и факторов аккумуляции ТММ в донных отложениях рек, каналов и озер. Подобные исследования проведены в Ногинске, Электростали, Улан-Баторе [5], Красноярске [6], Стокгольме [7], Бергене [8], Авейру [9], Кампале [10], Богре [11], *Читтагонге* [12], Бангалоре [13] и др. Вторая группа исследований связана с определением форм нахождения ТММ в донных отложениях [11; 14].

Цель данной работы — изучить распределение и факторы аккумуляции ТММ в речных донных отложениях крупного промышленного центра. В качестве объекта исследования выбран г. Улан-Удэ в нижнем течении р. Селенги, впадающей в оз. Байкал. На территории города расположено более 35 потенциальных источников загрязнения: очистные сооружения, городская свалка, предприятия приборостроения, ремонта локомотивов и вагонов, металлопроката, авиа- и судостроения и др. Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят работающие на угле ТЭЦ и выбросы автотранспорта [15].

Актуальность работы связана с тем, что эколого-геохимическое состояние городских донных отложений может влиять на состояние нижнего течения р. Селенги и оз. Байкал и определяет их пригодность для рекреации. Предшествующие исследования почвенного покрова Улан-Удэ выявили его слабое загрязнение по сравнению с фоновыми территориями [16], хотя город включен в приоритетный список городов с высоким уровнем загрязнения воздуха [15]. Возможно, поллютанты накапливаются в донных отложениях, которые, как и почвы, выступают депонирующей средой по отношению к ТММ.

В задачи исследования входило:

- отбор образцов донных отложений из р. Селенги и ее притока р. Уды; определение в них физико-химических свойств и содержания ТММ;
- выявление пространственного распределения ТММ в речных донных отложениях в зависимости от их основных физико-химических свойств и уровня антропогенного воздействия;
- оценка экологической опасности загрязнения донных отложений.

Материалы и методы исследования

Донные отложения рр. Селенги и Уды опробовались в период летней межени в конце июля 2015 г. Отобрано 12 образцов отложений выше и ниже по течению крупных промышленных и транспортных объектов (рис. 1). Средний шаг про-

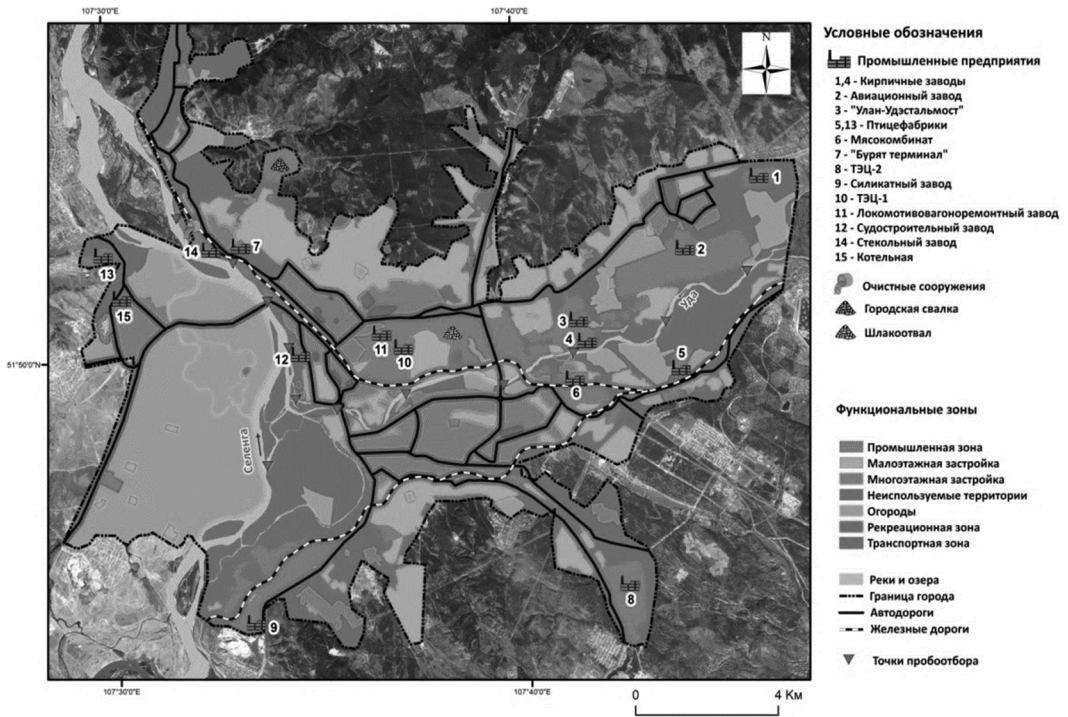


Рис. 1. Карта функционального зонирования г. Улан-Удэ с точками отбора проб донных отложений

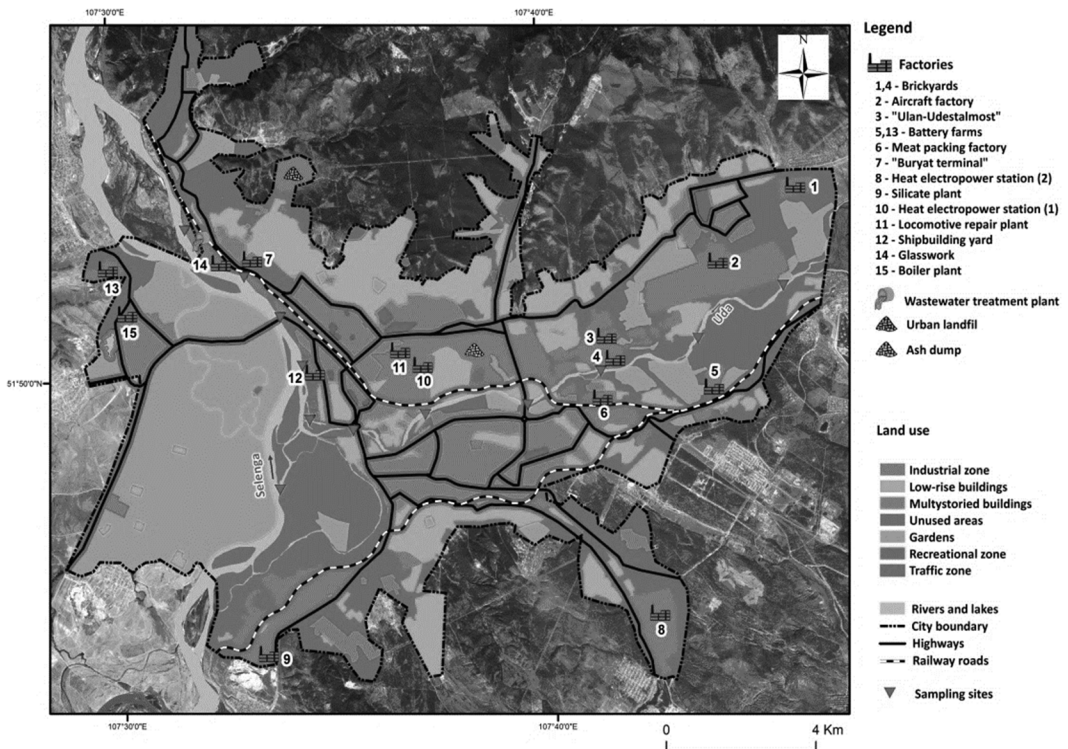


Fig. 1. Map of land-use zoning of the Ulan-Ude territory with sampling points of bottom sediments

боотбора на р. Селенге составил 1700 м, на р. Уде — 2800 м. Фоновые пробы р. Уды отбирались в 8 и 26 км, р. Селенги — в 11 км выше границы города. В 16 км ниже по течению из р. Селенги была взята 1 проба.

Валовое содержание ТММ и Fe_2O_3 в пробах определялось во ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского масс-спектральным (ICP/MS) и атомно-эмиссионными методами (ISP/AES) с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре “Elan-610” и атомно-эмиссионном спектрометре “Optima-4300 DV” (Perkin-Elmer, США). Для подробного анализа выбраны 14 ТММ 1-3 классов опасности: V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, W, Pb, а также Bi и Sn. В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ определены гранулометрический состав в трехкратной повторности на лазерном микроанализаторе размеров частиц “Analizette 22”, рН в водной суспензии на стационарном приборе «Эксперт-рН», содержание органического вещества $C_{\text{орг}}$ методом И.В. Тюрина. Эти физико-химические свойства влияют на способность донных отложений закреплять поллютанты.

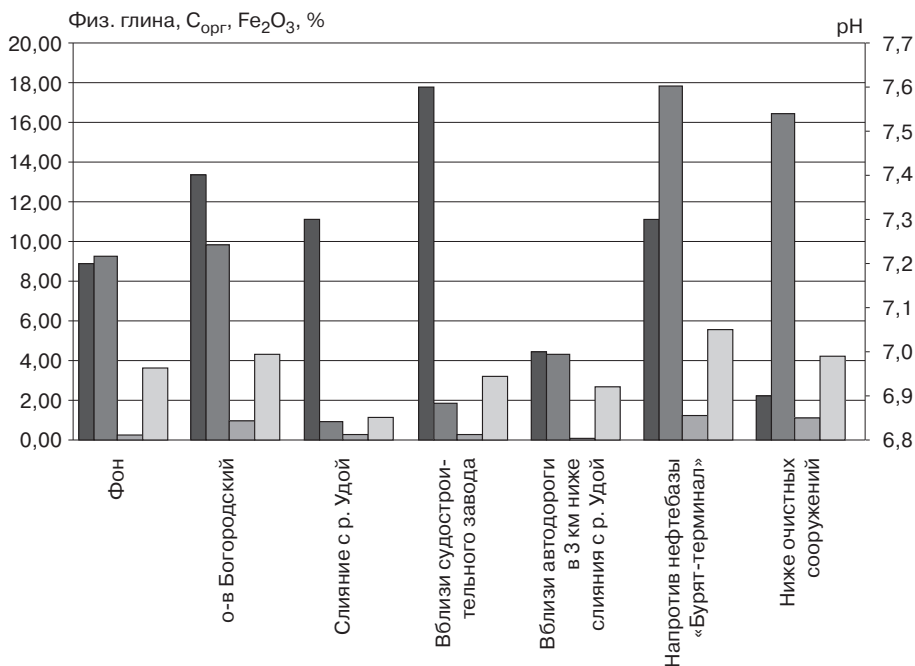
Статистическая обработка геохимических данных в программном пакете Statistica 8 включала вычисление выборочных средних, медиан, коэффициентов ранговой корреляции Спирмена (r) и других статистических показателей.

Содержание ТММ в фоновых донных наносах, которые отбирались выше по течению города, путем расчета кларков концентрации (КК) и рассеяния (КР) сравнивалось с кларками литосферы А.П. Виноградова [17], а также с кларками, рекомендованными Н.С. Касимовым, Д.В. Власовым [18]: Z, Hg, S, Gao для Bi, Co, Cu, V [19]; Н.А. Григорьева для W, Sb, Ni, Cr, As, Zn [20]; R.L. Rudnick, S. Gao для Mo, Cd [21]; К.Н. Wedepohl для Sn [22].

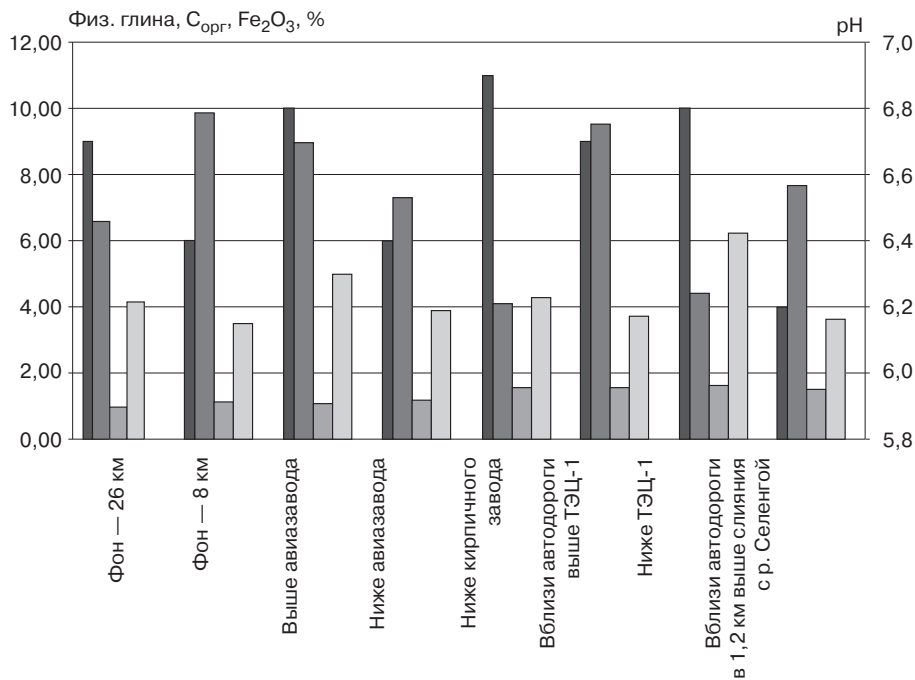
Интенсивность антропогенного воздействия оценивалась коэффициентами концентрации ТММ в донных наносах по отношению к фону: $K_c = C_a/C_{\text{ф}}$, где C_a , $C_{\text{ф}}$ — содержание ТММ в городских и фоновых образцах соответственно. Так как в РФ не существует нормативных документов, которые устанавливают уровни ПДК для ТММ в донных отложениях, экологическая опасность загрязнения донных отложений ($K_o = C_a/\text{ПДК}$) определялась по отношению к ПДК, разработанным для почв [23]. Уровень полиэлементного загрязнения донных отложений характеризовался в зависимости от показателя суммарного загрязнения $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$, где n — число ТММ с $K_c > 1$, который имеет пять градаций [24].

Результаты и их обсуждение

Физико-химические свойства и сорбционная способность донных отложений. Физико-химические свойства городских и фоновых отложений практически не отличаются друг от друга, за исключением более высокого — в 1,5–3 раза — содержания органического вещества в городе. Донные отложения р. Селенги и Уды характеризуются песчаным и супесчаным гранулометрическим составом, нейтральной реакцией среды, низким содержанием органического вещества и Fe_2O_3 (рис. 2). Таким образом, в целом они обладают невысокой сорбционной способностью по отношению к ТММ.



а



б

■ — физ. глина; ■ — $C_{орг}$; ■ — Fe_2O_3 ; ■ — pH

Рис. 2. Изменение сорбционных свойств донных отложений вниз по течению р. Селенги (а) и р. Уды (б) в районе г. Улан-Удэ

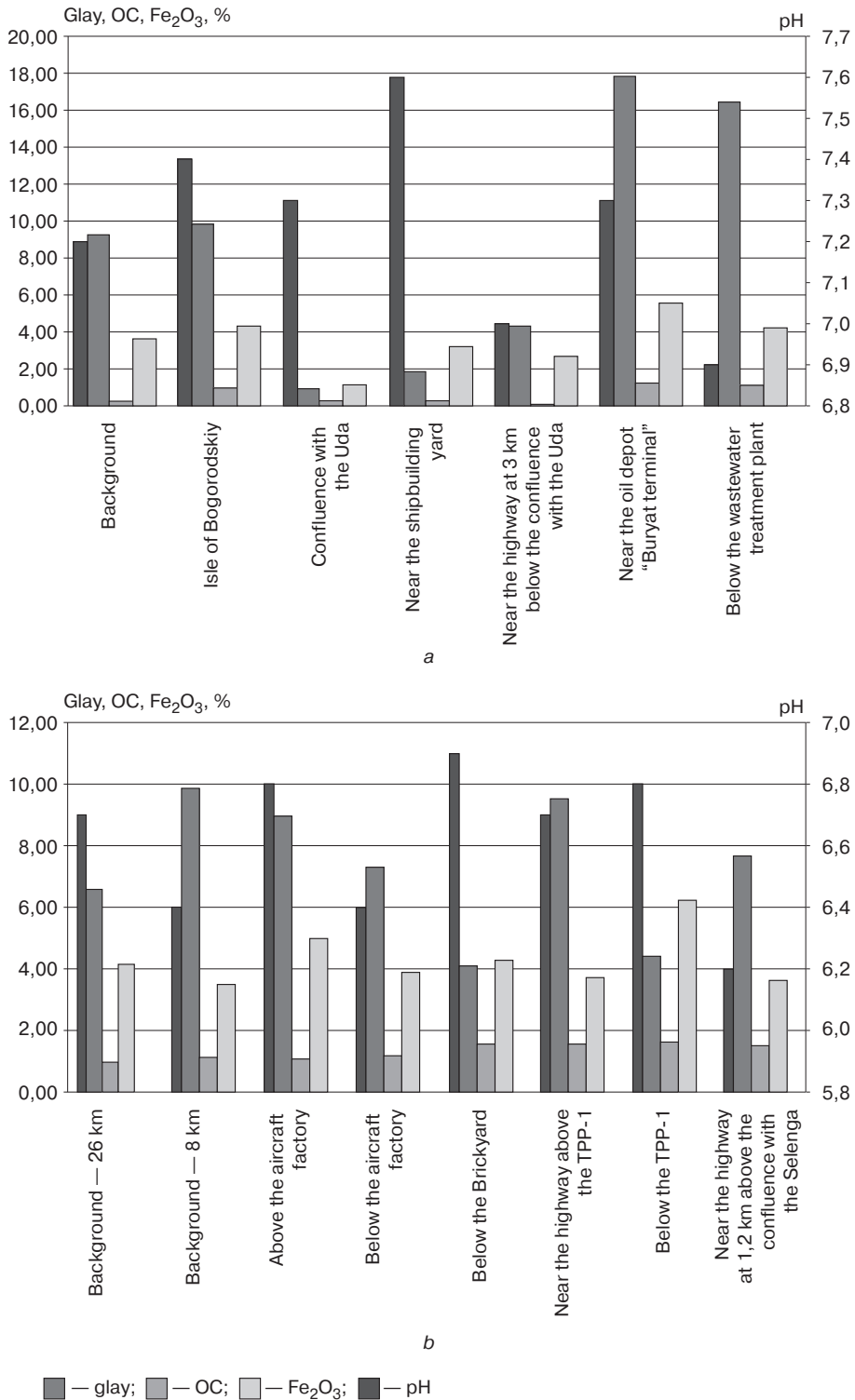


Fig. 2. Change in sorption properties of bottom sediments downstream of the Selenga (a) and Uda (b) rivers within the Ulan-Ude city

Донные отложения обеих рек имеют близкое содержание физической глины и Fe_2O_3 , однако в донных отложениях р. Уды в среднем в 2,5 раза больше органического вещества, что обуславливает несколько более кислую реакцию среды — коэффициент корреляции между этими показателями $r = -0,53$. С учетом того, что рН снижается незначительно, донные отложения р. Уды обладают более высокой сорбционной способностью.

Максимальное содержание физической глины, органического вещества и Fe_2O_3 в городских донных отложениях р. Селенги приурочено к нефтебазе «Бурят-терминал», очистным сооружениям и острову Богородскому (см. рис. 2). В донных отложениях р. Уды повышенная аккумуляция физической глины выявлена выше авиазавода и ТЭЦ-1, Fe_2O_3 — ниже ТЭЦ-1. Рост содержания органического вещества наблюдается ниже кирпичного завода. Повышенное содержание этих компонентов как основных фаз-носителей ТММ, может способствовать их накоплению в донных отложениях.

Содержание ТММ в донных отложениях. Выше г. Улан-Удэ донные наносы р. Селенги обогащены относительно кларков А.П. Виноградова Bi ($KK = 14,4$) и As (1,9), обеднены $Cu_{5,0}$, $Ni_{3,3}$, $Cr_{2,5}$, $Co_{2,2}$, $Mo_{2,0}$ (нижние индексы — KP), содержания остальных ТММ близки к кларкам. Аккумуляция As в донных отложениях уже отмечалась в среднем течении р. Селенги ниже впадения Чикоя. Это объясняется повышенным содержанием As в слагающих бассейн горных породах [25]. Накопления ТММ относительно других глобальных кларков не выявлено, среди рассеивающихся оказались Bi , As , W ($KP = 1,7$) при снижении рассеяния у Cu ($KP = 2,5$).

Таблица

Содержание ТММ (мг/кг) в речных донных отложениях в районе г. Улан-Удэ и на фоновых территориях

Объект (число проб)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb	Bi
р. Селенга в 11 км выше Улан-Удэ ($n = 1$)	66,8	33,4	8,16	18,1	11,6	54,5	3,16	0,55	0,12	1,97	0,59	1,16	16,1	0,13
р. Селенга в Улан-Удэ ($n = 6$)	63,5	27,9	7,80	16,3	13,1	59,7	3,20	0,70	0,1	2,10	0,60	1,70	20,3	0,20
р. Уда в 8 км выше Улан-Удэ ($n = 1$)	67,4	17,7	6,87	10,6	11,2	66,7	2,50	1,0	0,15	2,56	0,45	1,36	17,8	0,13
р. Уда в 26 км выше Улан-Удэ ($n = 1$)	93,7	14,1	5,62	8,83	9,94	65,4	1,40	1,07	0,12	2,41	0,37	1,21	15,2	0,12
р. Уда в Улан-Удэ ($n = 6$)	88,5	19,0	6,80	9,40	10,4	60,3	1,20	1,2	0,1	2,70	0,40	1,70	18,7	0,10

Table

Content of HMMs (mg/kg) in river bottom sediments in the Ulan-Ude city and in the background territories

Object (number of samples)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb	Bi
Selenga river, 11 km above Ulan-Ude ($n = 1$)	66,8	33,4	8,16	18,1	11,6	54,5	3,16	0,55	0,12	1,97	0,59	1,16	16,1	0,13
Selenga river in Ulan-Ude ($n = 6$)	63,5	27,9	7,80	16,3	13,1	59,7	3,20	0,70	0,1	2,10	0,60	1,70	20,3	0,20
Uda river, 8 km above Ulan-Ude ($n = 1$)	67,4	17,7	6,87	10,6	11,2	66,7	2,50	1,0	0,15	2,56	0,45	1,36	17,8	0,13

Object (number of samples)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb	Bi
Uda river, 26 km above Ulan-Ude (n = 1)	93,7	14,1	5,62	8,83	9,94	65,4	1,40	1,07	0,12	2,41	0,37	1,21	15,2	0,12
Uda river in Ulan-Ude (n = 6)	88,5	19,0	6,80	9,40	10,4	60,3	1,20	1,2	0,1	2,70	0,40	1,70	18,7	0,10

По химическому составу фоновые отложения р. Уды почти не отличаются от наносов р. Селенги, они обогащены Bi ($KK = 11,1$) и обеднены $Cu_{5,0}$, $Ni_{5,0}$, $Cr_{5,0}$, $Co_{2,9}$. При сравнении с другими кларками обогащения наносов ТММ не установлено, а список ТММ с кларками рассеяния дополнили Bi , As , W , Sb ($KP = 1,7–2,5$) при снижении рассеяния у Cu ($KP = 2,5$).

Таким образом, фоновые донные отложения обеих рек выше Улан-Удэ характеризуются в основном околосларковыми или пониженными содержаниями ТММ. По сравнению с р. Удой в наносах р. Селенги в 1,5–2,1 раза выше концентрации Cr , As , Ni , Sb и в 1,7 раза ниже Mo .

В пределах г. Улан-Удэ речные отложения по микроэлементному составу практически не отличаются от фоновых (таблица), что связано с их низкой сорбционной способностью и незначительным загрязнением осаждающегося взвешенного вещества [26]. Как и на фоне, городские наносы р. Селенги по сравнению с р. Удой имеют в среднем более высокое содержание Cr , As , Ni , Sb и более низкое — Mo . Кроме литогеохимических особенностей, это связано с разными условиями аккумуляции ТММ. Так, сорбция Mo усиливается в более кислых и богатых органическим веществом донных отложениях р. Уды.

Пространственные тренды накопления ТММ в донных отложениях. Слабоконтрастные локальные аномалии ($K_c \geq 1,5$) ТММ в донных отложениях обеих рек выявлены вблизи крупных промышленных предприятий и транспортных магистралей. В отложениях р. Селенги максимальные содержания W , Cu , Mo , As , Sb , Pb , Bi , Cd , Co , Ni ($K_c = 1,7–3,5$) приурочены к нефтебазе «Бурят-терминал» (рис. 3).

Большая часть ТММ, очевидно, поступает в составе нефтепродуктов, которые образуют пленку на водной поверхности. Они могут попадать в реку при разгрузке загрязненных грунтовых вод и за счет утечек из расположенной на берегу нефтебазы. Ниже очистных сооружений установлены незначительные превышения фоновых содержаний As , W и Bi ($K_c = 1,5–1,9$). Видимых нарушений работы очистных сооружений зафиксировано не было, поэтому слабая аккумуляция этих ТММ, скорее всего, обусловлена незначительными утечками сточных вод.

Закономерное нарастание загрязнения донных отложений вниз по течению р. Селенги нарушается при впадении р. Уды, где отложения отличаются низкой сорбционной способностью и удаленностью от крупных промышленных предприятий и автомагистралей. На расстоянии 16 км ниже Улан-Удэ содержание всех ТММ практически совпадает с фоновым. Таким образом, антропогенные изменения состава донных отложений р. Селенги четко проявляются только в черте города. Донные отложения р. Уды выше авиазавода накапливают Cd ($K_c = 1,5$), вблизи автодороги выше по течению ТЭЦ-1 — Cd , Bi ($K_c = 1,5–1,6$), ниже ТЭЦ-1 — W ,

V, Cd, Cu, Sb ($K_c = 1,5—2,0$), вблизи автодороги в 1,2 км выше впадения в Селенгу — Mo, Cd, Bi ($K_c = 1,5—1,6$) (рис. 4). Согласно данным снегомерной съемки [26], для выбросов ТЭЦ характерно наличие V, а для эмиссии автотранспорта — Bi и Cd.

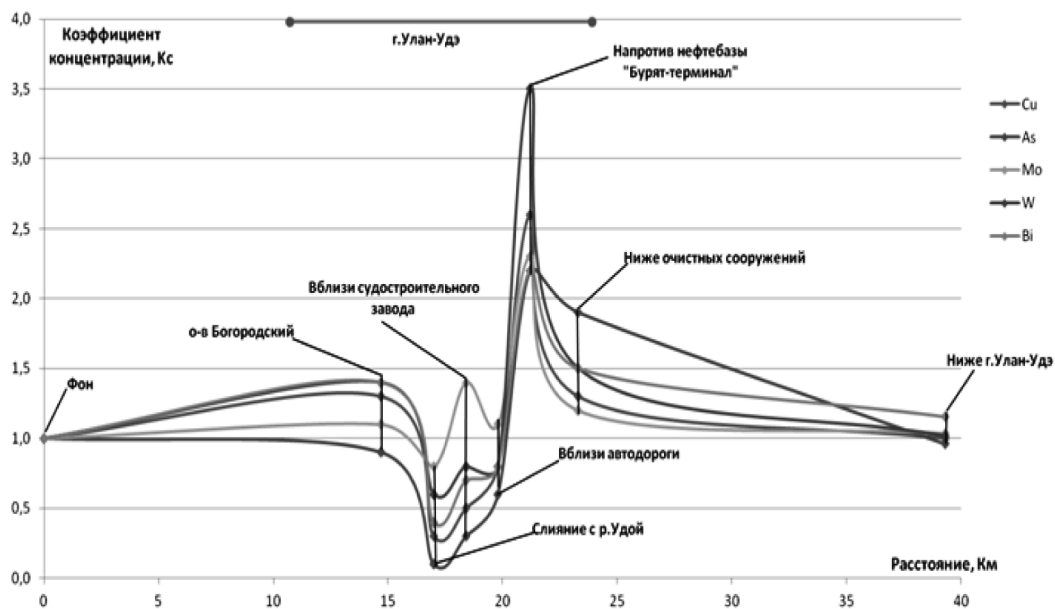


Рис. 3. Изменение концентраций Cu, As, Mo, W, Bi в донных отложениях р. Селенги вниз по течению в районе г. Улан-Удэ относительно фона

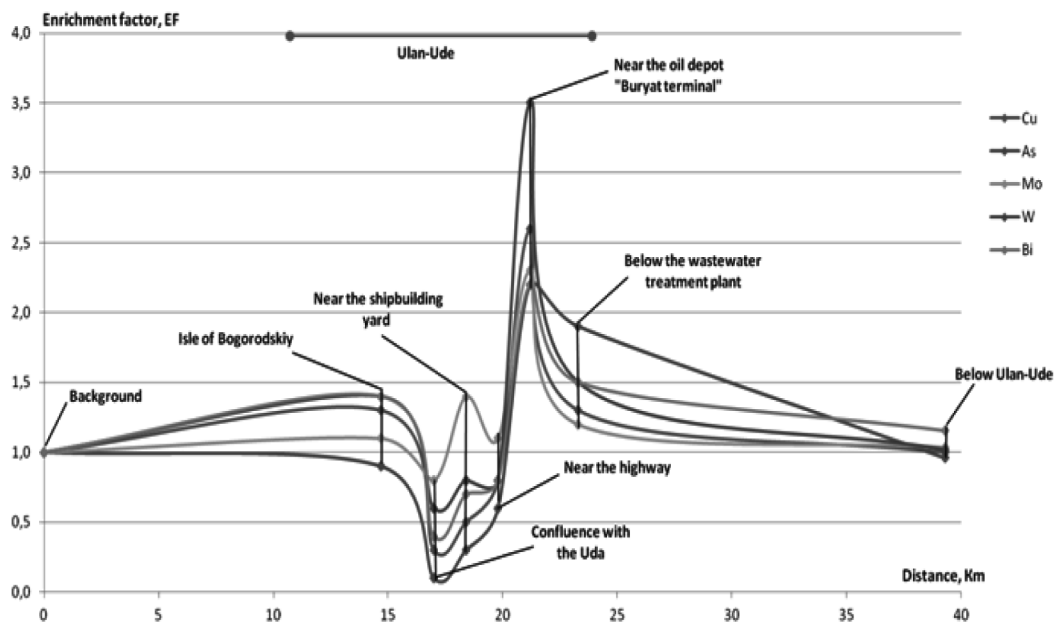


Fig. 3. Change in the concentrations of Cu, As, Mo, W, Bi in the bottom sediments downstream of the Selenga river within the Ulan-Ude city relative to the background

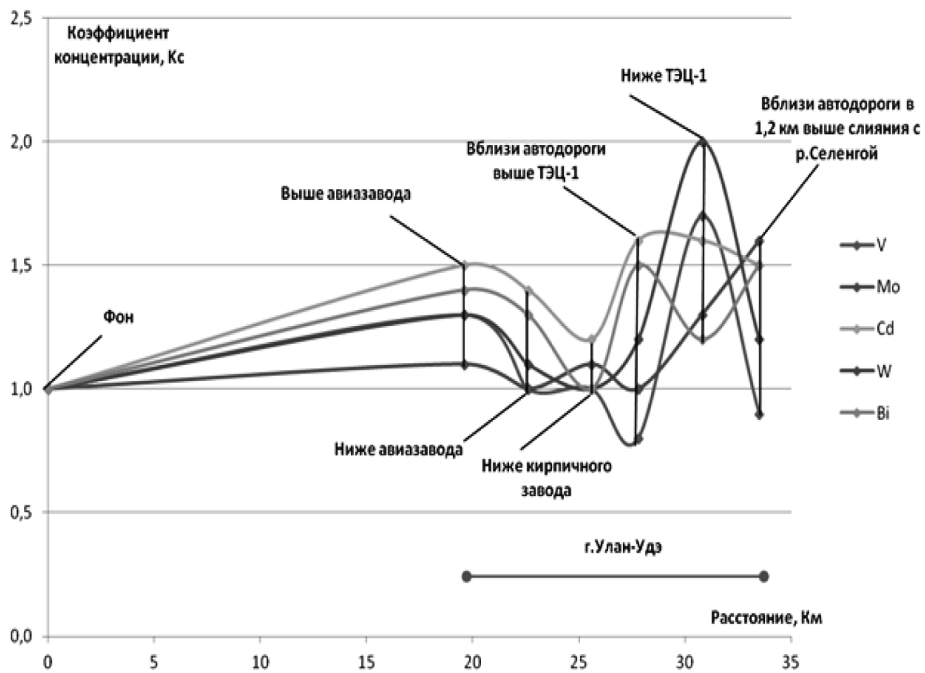


Рис. 4. Изменение концентраций V, Mo, Cd, W, Bi в донных отложениях р. Уды вниз по течению в районе г. Улан-Удэ относительно фона

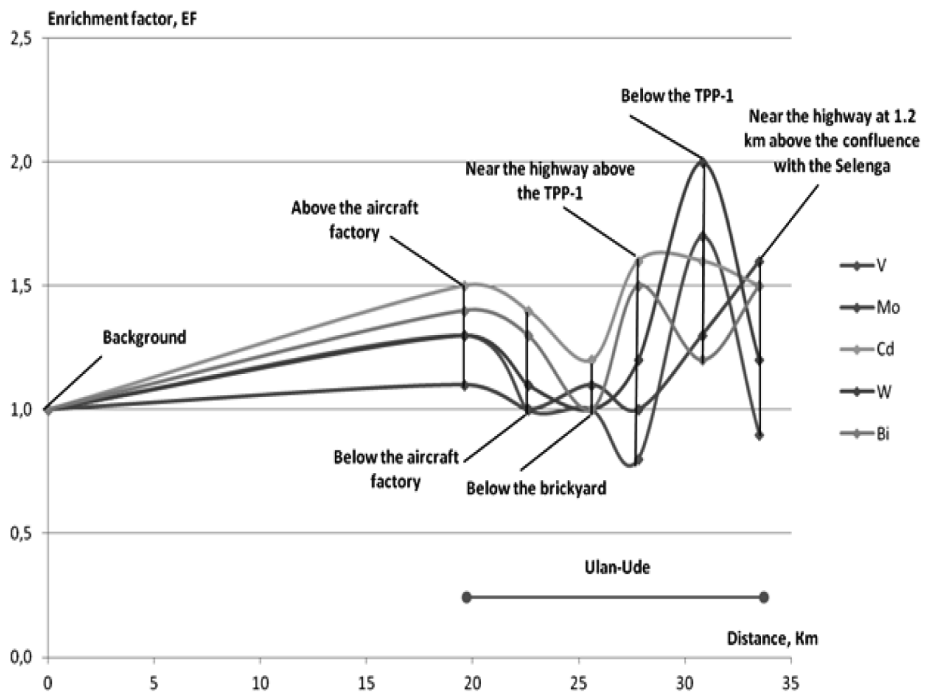


Fig. 4. Change in the concentrations of V, Mo, Cd, W, Bi in the bottom sediments downstream of the Uda river within the Ulan-Ude city relative to the background

Аккумуляция ТММ в донных отложениях рек определяется не только уровнем антропогенного воздействия, но и их физико-химическими свойствами. Содержание физической глины влияет на накопление практически всех ТММ, о чем свидетельствуют значимые положительные коэффициенты корреляции между этими величинами: Bi , Co , Ni ($r = 0,93-0,89$), Cr , Cu , Zn , As , Sb , Cd , W ($r = 0,78-0,5$). Органическое вещество усиливает сорбцию Mo , W , Sn , Zn , Pb ($r = 0,73-0,6$). Эти же элементы (кроме Pb) и V накапливаются при увеличении содержания оксидов железа ($r = 0,9-0,59$). Для анионогенного Mo выявлена отрицательная корреляционная связь с pH ($r = -0,57$), что согласуется с данными [1; 27].

Тесные корреляционные связи указывают на то, что осаждение ТММ происходит преимущественно на комплексных сорбционно-седиментационных, хемосорбционных и биогеохимических барьерах, приуроченных к отложениям с повышенным содержанием физической глины, Fe_2O_3 , органического вещества $\text{C}_{\text{орг}}$. Для накопления Mo большое значение имеет кислый барьер.

Контрастность аккумуляции ТММ выше по течению авиазавода и ТЭЦ-1 усиливается за счет сорбционно-седиментационного барьера, где содержание физической глины увеличивается до 9 и 9,6% соответственно. Ниже по течению ТЭЦ-1 определяющую роль для V играет хемосорбционный (с содержанием Fe_2O_3 6,2%), а для W — еще и биогеохимический ($\text{C}_{\text{орг}} = 1,6\%$) барьеры. В 1,2 км выше впадения в Селенгу сорбция Mo усиливается при формировании биогеохимического (с $\text{C}_{\text{орг}} = 1,5\%$) и кислого ($\text{pH} = 6,2$) барьеров. При отсутствии поступления со стоками загрязненных фаз-носителей ТММ их аккумуляция ниже очистных сооружений и вблизи нефтебазы «Бурят-терминал», по всей видимости, усиливается за счет сорбционно-седиментационного, где содержание физической глины увеличивается до 16,5—17,9%, биогеохимического ($\text{C}_{\text{орг}} 1,1-1,2\%$) и хемосорбционного барьеров (4,2—5,5%).

Экологическая опасность загрязнения донных отложений. Суммарное загрязнение донных отложений в пределах города и ниже по течению от него относится к допустимому уровню. За счет локального максимума вблизи нефтебазы «Бурят-терминал» ($Z_c = 15,6$) среднее значение показателя Z_c р. Селенги (4,8) в 1,4 раза выше по сравнению с р. Удой (3,4). Если в качестве оценки среднего использовать медиану, то загрязнение обеих рек оказывается практически одинаковым.

Превышения ПДК в донных отложениях р. Селенги установлены для As ($K_o = 1,5-3,4$). Максимальные сверхнормативные концентрации этого элемента зафиксированы вблизи нефтебазы «Бурят-терминал» (3,4) и ниже очистных сооружений (3,1). Ниже по течению от города K_o снижается до 1,5.

Выводы

1. Донные отложения рек Селенги и Уды в пределах города и ниже по течению характеризуются околочларковыми или пониженными содержаниями ТММ и по микроэлементному составу практически не отличаются от фоновых, что связано с их низкой сорбционной способностью и незначительной техногенной трансформацией осаждающегося взвешенного вещества.

2. Слабоконтрастные ($K_c = 1,5–3,5$) локальные аномалии ТММ в городских донных отложениях выявлены вблизи автомагистралей, нефтебазы «Бурят-терминал», очистных сооружений, выше по течению авиазавода и ниже ТЭЦ-1. Их контрастность обусловлена не только техногенной нагрузкой, но и наличием комплексных сорбционно-седиментационных, хемосорбционных, биогеохимических и кислых (для Мо) геохимических барьеров.

3. Суммарное загрязнение донных отложений в городе и ниже по течению от него относится к допустимому уровню. Превышения ПДК установлено для As ($K_o = 1,5–3,4$).

Дополнительная информация

Конфликты интересов, связанные с рукописью, отсутствуют.

Финансирование:

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-41024).

Участие авторов:

Касимов Н.С. — постановка проблемы, интерпретация результатов;

Корляков И.Д. — полевые и лабораторные работы, обработка материалов;

Кошелева Н.Е. — полевые работы, анализ полученных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: «Астрей-2000», 1999. 768 с.
- [2] *Анищенко О.В., Гладышев М.И., Кравчук Е.С., Сушик Н.Н., Грибовская И.В.* Распределение и миграция металлов в трофических цепях экосистемы реки Енисей в районе г. Красноярска // *Водные ресурсы*. 2009. Т. 36. № 5. С. 623–632.
- [3] *Овчарова Е.П.* Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска): автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Минск: Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси, 2006. 22 с.
- [4] *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. V. 7. Iss. 1. P. 17–28.
- [5] *Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова*. М.: Изд-во МГУ, 1995. 336 с.
- [6] *Дементьев Д.В., Болсуновский А.Я., Борисов Р.В., Трофимова Е.А.* Содержание тяжелых металлов в донных отложениях реки Енисей в районе Красноярска // *Известия Томского политехнического университета*. 2015. Т. 326. № 5. С. 91–98.
- [7] *Landstrom M., Jonsson A., Brolin A.A., Hakanson L.* Heavy metal sediment load from the city of Stockholm // *Water, Air, & Soil Pollution: 2001, Focus1*: 103–118.
- [8] *Andersson M., Eggen O.A.* Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway // *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2015. Vol. 17. 854–867.
- [9] *Pastorinho M.R., Telfer T.C., Soares A.M.V.M.* Heavy Metals in Urban Channel Sediments of Aveiro City, Portugal / *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry — Biological Responses to Contaminants*. 2010. P. 197–204.
- [10] *Sekabira K., Oryem O.H., Basamba T.A., Mutumba G., Kakudidi E.* Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries // *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2010. 7 (3). 435–446.
- [11] *Islam M.S., Ahmed M.K., Raknuzzaman M., Mamun M.H-A., Islam M.K.* Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country // *Ecological Indicators*. 2015. 48: 282–291.

- [12] *Ali M.M., Ali M.L., Islam M.S., Rahman M.Z.* Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2016. 5: 27—35 p.
- [13] *Jumbe A.S., Nandini N.* Heavy Metals Analysis and Sediment Quality Values in Urban Lakes // *American Journal of Environmental Sciences*. 2009. 5 (6): 678—687.
- [14] *Hnaticova P., Benesova L., Komincova D.* Impact of urban drainage on metal distribution in sediments of urban streams // *Water science and technology*. 2009. P. 1237—1246.
- [15] Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2013 г. Санкт-Петербург: ООО РИФ Д-Арт, 2014. 273 с.
- [16] Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е. Тяжелые металлы и факторы их аккумуляции в почвенном покрове г. Улан-Удэ // Мат-лы XV совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, 10—13 сентября 2015. Иркутск, 2015. С. 93—96.
- [17] Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // *Геохимия*. 1962. № 7. С. 555—571.
- [18] Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр.* 2015. № 2. С. 7—17.
- [19] *Hu Z., Gao S.* Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 253. Iss. 3-4. P. 205—221.
- [20] Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- [21] *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // *Treatise on geochemistry*. Vol. 3. The Crust. Elsevier Sci., 2003. P. 1—64.
- [22] *Wedepohl K.H.* The composition of the continental crust // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995. Vol. 59. No. 7. P. 1217—1232.
- [23] ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
- [24] Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Кислов А.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М., Малхазова С.М., Шартова Н.В. Проблемы экогеохимии крупных городов // *Охрана и разведка недр*. 2012. № 7. С. 8—13.
- [25] Сорокина О.И. Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан Батора: дисс. ... канд. геогр. наук. М.: Географический ф-т МГУ, 2013. 169 с.
- [26] Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Корляков И.Д., Сорокина О.И., Тимофеев И.В. Экогеохимия городов и промышленных центров в бассейне Селенги // *Геохимия ландшафтов. К 100-летию со дня рождения А.И. Перельмана* / под ред. Н.С. Касимова, А.Н. Геннадиева. М.: АПР, 2017. 18 с.
- [27] *Водяницкий Ю.Н.* Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 164 с.

© Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 29.03.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

Для цитирования:

Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е. Распределение и факторы аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов в речных донных отложениях на территории г. Улан-Удэ // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 3. С. 380—395. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395

Сведения об авторах:

Касимов Николай Сергеевич — доктор географических наук, профессор, академик РАН, президент и заведующий кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. E-mail: nskasimov@mail.ru

Корляков Илья Дмитриевич — магистрант кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. E-mail: ilya.korlyakov@gmail.com

Кошелева Наталья Евгеньевна — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. E-mail: natalak@mail.ru

DISTRIBUTION AND FACTORS OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND METALLOIDS IN RIVER BOTTOM SEDIMENTS IN THE TERRITORY OF THE ULAN-UDE CITY

N.S. Kasimov, I.D. Korlyakov, N.E. Kosheleva

Lomonosov Moscow State University
Lenin Hills, Moscow, Russia, 119991

The distribution and accumulation factors of heavy metals and metalloids (HMMs) in the bottom sediments of the Selenga river and its tributary Uda have been studied on the territory of Ulan-Ude. Their ecological and geochemical condition can influence the state of the lower reaches of the Selenga river and Baikal lake. We selected 3 background, 12 urban and 1 sample of bottom sediments downstream of the city. The main physical-chemical properties (pH, content of organic matter, iron oxides, granulometric composition) and the total content of HMMs in the samples were determined. The sediments of the Selenga and Udarivers are characterized by sandy and sandy-loamy granulometric composition, neutral reaction, low content of organic matter and Fe₂O₃. Upstream Ulan-Ude the rivers have a similar chemical composition of the sediments and are characterized by the dispersion and near-clark concentrations of the HMMs. Within the city and downstream, microelemental composition of the sediments has not significantly differ from the background one, this is due to their low sorption capacity and insignificant contamination of the precipitating suspended matter. Low-contrast geochemical anomalies were formed near the motorways (Mo, Cd, Bi), the oil storage facilities “Buryat-Terminal” (W, Cu, Mo, As, Sb, Pb, Bi, Cd, Co, Ni), treatment plant (As, W, Bi), upstream of the aircraft plant (Cd) and below TPP-1 (W, V, Cd, Cu, Sb). The presence of correlations between the HMM content and the physico-chemical properties of the deposits indicates that the geochemical anomalies were formed also due to the sorption-sedimentation, chemisorption and biogeochemical barriers. The acid barrier is of great importance for the accumulation of an anionic Mo. The total HMM contamination of sediments within the city and downstream refers to the permissible level. The MPC in the sediments of the Selengeriver was exceeded for As (in 1,5–3,4 times). Thus, in the Ulan-Ude city and downstream, there are a weak man-made transformation and a low ecological danger of pollution of river sediments. The maximum contents of HMMs are localized on geochemical barriers near industrial enterprises and highways.

Key words: pollution, heavy metals and metalloids, urban landscapes, bottom sediments, geochemical barriers

REFERENCES

- [1] Perelman A.I., Kasimov N.S. Geochemistry of the landscape. M.: Astrea-2000, 1999. 768 p. (In Russ).
- [2] Anishchenko O.V., Gladyshev M.I., Kravchuk E.S., Sushchik N.N., Gribovskaya I.V. Distribution and migration of metals in trophic chains of the Yenisei ecosystem near Krasnoyarsk City. *Water Resources*. 2009; 36 (5): 594—603.
- [3] Ovcharova E.P. Ecological — geochemical assessment of surface runoff from urban areas (based on the example of Minsk). Dissertation summary. ... Ph.D. Minsk: Institute of Problems of Natural Resources and Ecology of the National Academy of Sciences of Belarus. 2006. 22 pp.
- [4] 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; 7 (1): Iss. 1 17—28.
- [5] Ecogeochemistry of urban landscapes / Ed. by N.S. Kasimov. Moscow: MSU, 1995. 336 p. (In Russ).
- [6] Dementyev D.V., Bolsunovsky A.Ya., Borisov R.V., Trofimova E.A. Concentrations of heavy metals in bottom sediments of the Yenisei river near Krasnoyarsk. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2015; 326 (5): 91—98.
- [7] Landstrom M., Jonsson A., Brodin A.A., Håkanson L. Heavy metal sediment load from the city of Stockholm. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2001; Focus1: 103—118.
- [8] Andersson M., Eggen O.A. Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2015; 17: 854—867.
- [9] Pastorinho M.R., Telfer T.C., Soares A.M. V.M. Heavy Metals in Urban Channel Sediments of Aveiro City, Portugal. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry — Biological Responses to Contaminants*. 2010: 197—204.
- [10] Sekabira K., Oryem O.H., Basamba T.A., Mutumba G., Kakudidi E. Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries. *Int. J. Environ. Sci. Tech*. 2010; 7 (3): 435—446.
- [11] Islam M.S., Ahmed M.K., Raknuzzaman M., Mamun M.H.-A., Islam M.K. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*. 2015; 48: 282—291.
- [12] Ali M.M., Ali M.L., Islam M.S., Rahman M.Z. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2016; 5: 27—35.
- [13] Jumbe A.S., Nandini N. Heavy Metals Analysis and Sediment Quality Values in Urban Lakes. *American Journal of Environmental Sciences*. 2009; 5 (6): 678—687.
- [14] Hnatucova P., Benesova L., Komincova D. Impact of urban drainage on metal distribution in sediments of urban streams. *Water science and technology*. 2009: 1237—1246.
- [15] Yearbook of the state of atmospheric pollution in Russia cities in 2013. St. Petersburg: RIF D-Art LLC, 2014. 273 p. (In Russ).
- [16] Kasimov N.S., Korlyakov I.D., Kosheleva N.E. Heavy metals and their accumulation factors in the soil cover in Ulan-Ude // Materials of the XV geographers' meeting from Siberia and the Far East. Ulan-Ude, September 10—13, 2015. Irkutsk, 2015, p. 93—96. (In Russ).
- [17] Vinogradov A.P. The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust // *Geochemistry*. 1962. No. 7. P. 555—571.
- [18] Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry. *Vestnik Mosk. un-ta*. Ser. 5, geogr. 2015; (2): 7—17. (In Russ).
- [19] Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: a revision and update. *Chem. Geol*. 2008; 253: Iss. 3-4. 205—221.
- [20] Grigoryev N.A. Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust. Ekaterinburg: UrO RAN, 2009. 382 p. (In Russ).
- [21] Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust. *Treatise on geochemistry*. 2013; 3. The Crust. Elsevier Sci: 1—64.

- [22] Wedepohl K.H. The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995; 59 (7): 1217–1232.
- [23] GN 2.1.7.2041-06 (2006) Maximum permissible concentrations (MPCs) of chemical substances in the soil (In Russ).
- [24] Kasimov N.S., Bityukova V.R., Kislov A.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Malkhazova S.M., Shartova N.V. Problems of ecogeochemistry of large cities // Protection and exploration of mineral resources. 2012. No. 7. P. 8–13. (In Russ).
- [25] Sorokina O.I. Heavy metals in landscapes of Ulan Bator. Dissertation Ph.D. M.: Geographical Faculty of MGU, 2013. P. 169. (In Russ).
- [26] Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Korlyakov I.D., Sorokina O.I., Timofeev I.V. Ekogeochemistry of cities and industrial centers in the Selenga basin / Geochemistry of landscapes. To the centenary of the birth of A.I. Perelman. Ed. N.S. Kasimova, A.N. Gennadyeva. Moscow: APR, 2017. 18 p. (In Russ).
- [27] Vodyanitsky Y.N. Heavy metals and metalloids in soils. M.: GNU Soil Institute of V.V. Dokuchaeva RASHN. 2008. 164 p. (In Russ).

Article history:

Received: 29.03.2017

Revised: 28.08.2017

For citation:

Kasimov N.S., Korlyakov I.D., Kosheleva N.E. (2017) Distribution and factors of accumulation of heavy metals and metalloids in river bottom sediments in the territory of the Ulan-Ude city. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 380–395. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395

Bio Note:

Kasimov Nikolay Sergeevich — doctor of geographical sciences, professor, academician of the Academy of Sciences, president and head of Department of Geochemistry of Landscapes and Geography of Soils, Faculty of Geography, Moscow State University. E-mail: nskasimov@mail.ru

Korlyakov Ilya Dmitrievich — Master of the Department of Geochemistry of Landscapes and Geography of Soils, Faculty of Geography, Moscow State University. E-mail: ilya.korlyakov@gmail.com

Kosheleva Natalia Evgenievna — Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Department of Geochemistry of Landscapes and Geography of Soils, Faculty of Geography, Moscow State University. E-mail: nataalk@mail.ru