



УДК 631.481:504.064.2(571.63)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.48>

Особенности химического состава почв и донных отложений долины реки Второй Речки (г. Владивосток, Россия)

Е. А. Жарикова, С. В. Клышевская, А. Д. Попова*

*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
г. Владивосток, Россия*

Аннотация. Основными депонирующими средами урбандолин ландшафтов являются почвы и донные отложения водотоков. Цель работы – определить содержание основных химических элементов в этих компонентах городской среды, определить степень загрязнения и экологического риска. Валовое содержание элементов в почвах и донных отложениях определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре EDX-800HS (Shimadzu). Выявлено снижение кислотности (до слабощелочной среды) и повышение содержания фосфора (до крайне высокого уровня) в почвах и донных отложениях по мере возрастания антропогенной нагрузки. В процессе урбанизации в верхних горизонтах почв в наибольшей степени накапливаются Pb, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, а в донных отложениях – Zn, Cu, Mn, Pb, V. Значения различных геоэкологических показателей состояния городской среды (Igeo, PI и NPI) свидетельствуют о деградации поверхностного слоя почв и сильной степени загрязнения тяжелыми металлами, загрязнение донных отложений варьирует от среднего до сильного. Показатель химического загрязнения Zc при этом характеризует уровень загрязнения почв и донных отложений как допустимый. Потенциальный экологический риск PERI на исследованной территории оценивается как незначительный, уровень экологического риска для бентосных организмов реки оценивается как средненизкий.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, экологический риск, индекс геоаккумуляции.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7).

Для цитирования: Жарикова Е. А., Клышевская С. В., Попова А. Д. Особенности химического состава почв и донных отложений долины реки Второй Речки (г. Владивосток, Россия) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 50. С. 48–62. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.48>

Original article

Features of the Chemical Composition of Soils and Bottom Sediments of Valley of the Vtoraya Rechka River (Vladivostok, Russia)

E. A. Zharikova, S. V. Klyshevskaya, A. D. Popova*

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS,
Vladivostok, Russian Federation*

Abstract. The main depositing environments of urban landscapes are soils and bottom sediments of watercourses. The research aims to identify the content of the main chemical elements in these components of the urban environment to determine the degree of pollution and environmental risk. X-ray fluorescence analysis on an EDX-800HS (Shimadzu) spectrometer determined the total content of elements in soils and sediments. A decrease in acidity (to a slightly alkaline environment) and increased phosphorus content (to an extremely high level) in soils and bottom sediments were observed as the anthropogenic load increased. In the urbanization process, Pb, Zn, Mn, Cu, Ni, and Cr accumulate to the greatest extent in the upper horizons of soils, and Zn, Cu, Mn, Pb, and V accumulate in bottom sediments. The values of various geoecological indicators of the state of the urban environment (Igeo, PI, NPI) indicate the degradation of the surface layer of soils and a strong degree of pollution with heavy metals, pollution of bottom sediments varies from medium to strong. The chemical pollution indicator Zc characterizes the level of contamination of soils and bottom sediments as acceptable. The potential environmental risk (PERI) in the studied area is insignificant; the level of environmental risk for benthic organisms of the river is medium-low.

Keywords: heavy metals, pollution, environmental risk, geoaccumulation index.

For citation: Zharikova E.A., Klyshevskaya S.V., Popova A.D. Features of the Chemical Composition of Soils and Bottom Sediments of Valley of the Vtoraya Rechka River (Vladivostok, Russia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 50, pp. 48–62. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.50.48> (in Russian)

Введение

Почвы и донные отложения являются признанными индикаторами состояния экосистем городов, поскольку они являются заключительным этапом миграции загрязняющих веществ из атмосферного воздуха и окружающих территорий. Их химический состав зависит от многих факторов, но в условиях урбандиапазона решающую роль играет степень техногенной нагрузки. Являясь депонирующими средами, почвы и донные отложения способны не только закреплять и удерживать загрязнители, но также могут служить источником вторичного загрязнения окружающей среды, оказывать влияние на состояние биоты и здоровье населения (как прямое, так и опосредованное). Часто загрязнение компонентов городских водотоков ведет к перемещению загрязнителей в сопредельные экосистемы. Установлено, что в городах донные отложения формируются при поступлении материала от эрозии поверхностного горизонта городских почв (24–52 %), речных берегов (18–33 %), прибордюрных отложений автомагистралей (19–22 %), сточных вод (до 18 %) [Collins, Walling, 2002]. Признание того, что почвы являются ключевым звеном в массообмене между атмосферой, растительностью, грунтовыми и поверхностными водами, создает устойчивый спрос на качественные сведения об их экологическом состоянии [Savenko, 2007; Owens, Xu, 2011; Фоновое содержание химических ... , 2019; Костюкова, 2022]. Но сопряженный анализ вещественного состава этих компонентов с установлением степени экологического риска в городских экосистемах России встречается нечасто [Касимов, Корляков, Кошелева, 2017; Власов, Шинкарева, Касимов, 2019; Source identification and ... , 2021], а территория российской части Дальнего Востока в этом отношении практически не исследована [Сорокина, Зарубина, 2013].

Целью данной работы являются оценка экологического риска и выявление особенностей распределения химических элементов в почвах долины

р. Второй Речки и донных отложениях этого водотока. Актуальность связана также с тем, что эколого-геохимическое состояние почв и донных отложений водотоков Владивостока может влиять на состояние Амурского залива, на побережье которого находятся оздоровительные учреждения и городские пляжи.

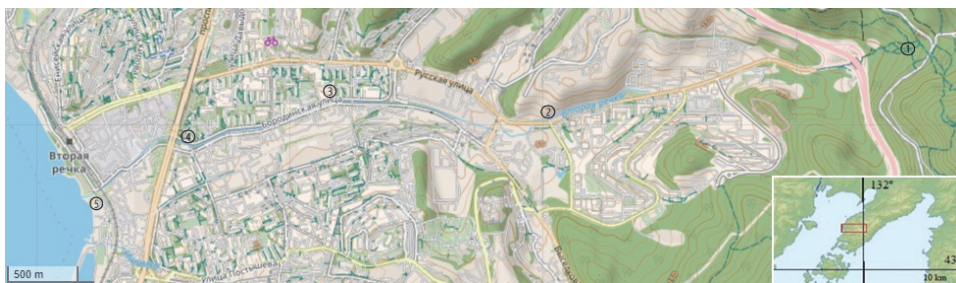
Объекты и методы исследования

Река Вторая Речка протекает по полуострову Муравьёва-Амурского с востока на запад от подножий водораздельных гор с бассейном р. Большой Пионерской. Впадает в Амурский залив Японского моря между мысом Фирсова и мысом Калузина. Длина составляет 6,15 км, площадь бассейна – 16,1 км², густота речной сети – 1,97 км/км². Средний уклон русла – 39 %; уклон водосбора – 161 %. В верховьях река протекает в относительно естественных условиях, остальной бассейн занят инфраструктурой г. Владивостока. Русло в средней и нижней частях канализовано и испытывает техногенное воздействие. В реку отводятся поверхностные стоки с территории города по ливневой канализации, сточные воды коммунально-бытового использования, сбрасываются воды из подвалов и предприятий. В теплое время года обычно наблюдается 6–8 паводков, вызванных интенсивными продолжительными дождями, которые часто сопровождаются выходом воды на пойму [Проблемы загрязнения водотоков, 2021].

Образцы донных отложений (песчано-алевритово-глинистый неуплотненный осадок) отбирали на расстоянии не более 50 м от русла реки с глубины 1–10 см пробоотборником из верхних горизонтов отложений на пяти станциях мониторинга, заложенных в районе истока (станция 1 с минимальным антропогенным влиянием), жилых кварталов с промышленными объектами (станции 2–4) и устья реки (станция 5) (рис. 1). Пробы массой не менее 1 кг высушивались до воздушно-сухого состояния, тщательно диспергировались и перемешивались. Физико-химические анализы почв и донных отложений выполняли по общепринятым методикам [Агрехимические методы исследования ... , 1975]. Подготовка проб и определение элементного анализа выполнены по аттестованной методике, элементный состав образцов проводили методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (EDX)¹ на анализаторе EDX 800HS-P (Shimadzu, Япония) в ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН. В качестве эталонов использовались стандартные государственные образцы состава почв, нижний предел обнаружения метода не более 3–4 мг/кг.

Для оценки экологического состояния почв и донных отложений были рассчитаны несколько геоэкологических показателей. В качестве фоновых значений при расчетах были использованы данные содержания тяжелых металлов в почвах и донных отложениях станции 1.

¹ М-02-0604-2007. Методика выполнения измерений массовой доли кремния, кальция, титана, ванадия, хрома, бария, марганца, железа, никеля, меди, цинка, мышьяка, стронция, свинца, циркония, молибдена в порошковых пробах почв и донных осадков рентгеноспектральным методом с применением энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных спектрометров типа EDX фирмы Shimadzu. СПб., 2007. 17 с.

Рис. 1. Район исследования²

Индекс геоаккумуляции *Igeo* (Geoaccumulation Index) служит геохимическим критерием для выявления загрязнения.

$$Igeo = \log_2(C_i / 1,5GB), \quad (1)$$

где C_i – содержание металла в верхнем горизонте; GB – фоновое содержание. Определяет семь классов состояния почв: $Igeo < 0$ – чистые; $0 < Igeo < 1$ – загрязнение от слабого до среднего; $1 < Igeo < 2$ – средняя степень загрязнения; $2 < Igeo < 3$ – загрязнение от среднего до сильного; $3 < Igeo < 4$ – сильное загрязнение; $4 < Igeo < 5$ – загрязнение от сильного до очень сильного; $Igeo > 5$ – очень сильное загрязнение [Pollution indices as ... , 2018].

Индекс загрязнения *PI* (Single Pollution Index) используется для выявления наличия загрязнения.

$$PI = C_i / GB. \quad (2)$$

Значение $PI < 1$ свидетельствует об отсутствии загрязнения, $1 < PI < 2$ – о слабом загрязнении, $2 < PI < 3$ – о среднем, $3 < PI < 5$ – о сильном, $PI > 5$ – об очень сильном загрязнении. Является основой для расчета комплексных показателей загрязнения [Pollution indices as ... , 2018].

Индекс загрязнения Немерова *NPI* (Nemerow Pollution Index) учитывает вклад не только каждого тяжелого металла, но и потенциальную опасность металла-загрязнителя с наибольшим содержанием.

$$NPI = \sqrt{0,5(PI_{1max}^2 + PI_{1ave}^2)}, \quad (3)$$

где PI_{1max} – максимальное значение *PI* среди n количества металлов; PI_{1ave} – среднее значение *PI*. *NPI* ранжирует пять классов загрязнения почв: $NPI < 0,7$ – чистая почва, $0,7 \leq NPI < 1,0$ – пограничный уровень, $1,0 \leq NPI < 2,0$ – слабое загрязнение, $2,0 \leq NPI < 3,0$ – среднее, $NPI > 3$ – сильное [Pollution indices as ... , 2018].

Показатель потенциального экологического риска *PERI* (Potential Ecological Risk) учитывает синергизм, уровень токсичности и экологическую чувствительность тяжелых металлов

$$PERI = \sum PI_i \cdot T_i, \quad (4)$$

² Geoplaner. URL: <https://www.geoplaner.com> (date of access: 25.03.2024).

где T_i – коэффициент токсичности i тяжелого металла. Значение T_i для Zn, V, Cr, Co, Pb, Ni, Cu равны 1, 1, 2, 2, 5, 5, 5 соответственно [Hakanson, 1980]. Значение $PERI < 90$ означает низкий уровень экологической опасности, 90–180 – средний, 180–360 – высокий, 360–720 – очень высокий, > 720 – чрезвычайно высокий [Varol, 2011].

Для оценки суммарного экологического риска загрязнения донных отложений учитывают уровни содержания поллютантов, превышение которых может оказать негативное влияние на жизнедеятельность бентоса – PEL (Probable Effects Level).

$$m-PEL-Q = [\sum(C_i / PEL)] / n, \quad (5)$$

где PEL – критическое содержание загрязнителя; n – число учитываемых элементов, при этом уровни PEL , разработанные для пресноводных экосистем, составляют 111 для Cr, 149 для Cu, 128 для Pb, 48,6 для Ni и 459 мг/кг для Zn [MacDonald, Ingersoll, Berger, 2000]. Приняты следующие градации: $m-PEL-Q < 0,1$ – низкий уровень; $0,11 < m-PEL-Q < 1,5$ – средненизкий, $1,51 < m-PEL-Q < 2,3$ – средневысокий, $m-PEL-Q > 2,3$ – высокий [Distribution of heavy ... , 2015].

В России о химическом загрязнении почв и донных отложений принято судить по суммарному показателю Z_c , определяемому по формуле: $Z_c = \sum(K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1)$, где n – число определяемых компонентов; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над региональным фоновым значением³. Величина $Z_c < 16$ свидетельствует о допустимом уровне загрязнения, но данный показатель не всегда позволяет корректно определить степень загрязнения почв [Богданов, 2012].

Результаты и обсуждение

В исследованных городских почвах содержание органического углерода находится в диапазоне средних значений (5,39–8,61 %), максимум выявлен в ненарушенных буроземах, типичных в районе истока. В донных отложениях оно колеблется более широко (от 1,36 до 12,57 %) и возрастает вниз по течению, достигая наибольших значений в районе самой интенсивной антропогенной нагрузки (площадка 4 рядом с федеральной трассой). Сведения о влиянии урбогенеза на содержание органического углерода в разных городах мира противоречивы, по сравнению с фоном оно может как увеличиваться, так и уменьшаться в разных функциональных зонах. В селитебно-промышленных зонах оно обычно снижено [Водяницкий, 2015]. В донных отложениях рек городов содержание органического вещества может превышать фоновое в 1,5–3,0 раза [Касимов, Корляков, Кошелева, 2017].

Техногенная нагрузка способствует снижению кислотности почв и донных отложений (от слабокислой до слабощелочной) вследствие попадания в них противогололедных реагентов и ионов щелочноземельных металлов из

³ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : постановление Гл. гос. сан. врача РФ от 28.01.2021 № 2.

обломков щебня, строительного и бытового мусора, которые в качестве включений в значительном количестве содержатся в городских почвах, на берегах и в русле реки [Еремченко, Москвина, 2005; Кошельков, Матюшкина, 2018]. Этот факт нашел подтверждение и на участке речной долины с плотной городской застройкой, где выявлено повышение реакции среды до нейтральной и слабощелочной как в почвах, так и в донных отложениях, вместе с увеличением в них содержания кальция и магния.

Содержание основных химических элементов в почвах и донных отложениях представлено в табл. 1. Легко- и среднесуглинистые по гранулометрическому составу почвы содержат меньше кремния и больше кальция и магния, чем песчаные и супесчаные донные отложения. Количество большинства макро- и микроэлементов практически стабильно на всей изученной территории (коэффициент вариации <33 %), некоторое отличие от кларка в осадочных породах [Григорьев, 2009] вполне можно объяснить геохимическими особенностями территории.

Таблица 1

Содержание химических элементов в почвах и донных отложениях (мг/кг)

Элемент	$M \pm m$	$V, \%$	Lim	$M \pm m$	$V, \%$	Lim	Кларк в осадочных породах
Si	275 381±9493	12	226 462–346 855	297 553±19 012	16	236 811–378 172	238 000
Al	71 290±2407	12	52 477–83 720	71 999±2970	10	62 126–80 514	64 400
Fe	37 521±1714	16	27 576–45 246	37 000±2796	19	26 401–45 798	35 400
K	16 806±297	6	14 650–18 094	16 676±580	9	15 446–19 198	19 800
Ca	18 429±4787	94	4941–56 750	11 672±1961	41	4090–17 110	72 800
Mg	6573±491	27	3286–9817	5789±364	15	4402–6627	18 300
Ti	5543±228	15	3600–6301	5171±247	12	4247–5930	3500
Ba	547±10	14	420–599	521±8	16	459–570	410
Mn	1077±155	52	519–2709	1330±226	42	789–2206	730
P	1328±412	122	222–5816	1139±515	111	231–3588	670
V	96±4	16	62–117	88±6	17	69–107	91
Cr	90±2	7	79–97	82±2	5	77–87	76,6
Co	32±2	19	24–41	33±2	18	26–43	14
Ni	25±2	27	17–42	29±4	35	21–45	38
Cu	52±3	23	33–67	53±14	63	21–116	31
Zn	242±31	47	90–410	180±42	57	63–327	69
Pb	71±11	56	11–133	28±5	45	13–48	13

Примечание. Lim – пределы колебаний, M – среднее содержание, m – ошибка среднего, V – коэффициент вариации.

В селитебно-промышленной зоне долины реки (станции 2–5) выявлено резкое увеличение содержания фосфора в почвах и донных отложениях, что позволяет отнести их к подтипу химически загрязненных, при этом почвы относятся к сильно- и сверхсильнозафосфаченным, а донные отложения – к

сильнозафосфаченным [Введение почв и ... , 2014]. Полученные данные дополняют уже имеющиеся сведения о высоком содержании фосфора в почвах городов Китая и Бразилии, где существует проблема его поступления в грунтовые воды [Phosphorus-enriched soils ... , 2001; Metal and trace ... , 2018].

Увеличение содержания отдельных элементов и поллютантов в компонентах городской среды, несомненно, является результатом антропогенного воздействия. Наибольшая концентрация цинка, свинца и меди, как в почвах, так и в донных отложениях, выявлена на станциях 3 и 4, расположенных вблизи промышленных объектов (автомойки, мусоросжигательный завод и др.) и федеральной трассы с интенсивным движением автотранспорта [Trace metal contamination ... , 2012; State of the environment ... , 2016; Sojka, Jaskula, Siepak, 2019; Жарикова, 2021].

Корреляционный анализ показал наличие тесных взаимосвязей между содержанием различных элементов в почвах и донных отложениях (при уровне значимости 0,05) (табл. 2). Содержание фосфора положительно взаимосвязано с содержанием хрома, меди и цинка в донных отложениях и содержанием марганца в почвах. Существует положительная зависимость содержания железа с содержанием титана, хрома, цинка, бария. Выявлена положительная зависимость содержания цинка от содержания кальция, титана, ванадия, хрома и меди. Отмечена отрицательная зависимость между содержанием кобальта и содержанием меди, цинка, свинца, железа и никеля. Достоверные коэффициенты корреляции свидетельствуют о наличии связей и между другими элементами.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между содержанием различных элементов

Элемент	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ba	Pb	Mn	Fe
Почва										
P	–	–	–	–	–	–	–	–	0,92	–
V	1,00	–	–	–	–	–	0,94	–	–	–
Co	–	–	1,00	–	–	–	–	–	–	–0,80
Cu	–	–	–	–	1,00	0,76	–	–	–	–
Донные отложения										
P	–	0,71	–	–	0,91	0,86	–	–	–	–
K	–	–	0,73	–	–	–	–0,71	–	–	–0,89
Ca	–	0,69	–0,67	–	0,82	0,82	–	–	–	–
Ti	0,94	–	–	–	–	0,70	0,99	–	–	0,69
V	1,00	–	–	0,70	–	0,70	0,95	–	–	–
Cr	–	1,00	–0,88	–	0,83	0,88	–	–	–	0,68
Co	–	–	1,00	–	–0,73	–0,74	–	–0,78	–	–0,86
Cu	–	–	–	–	1,00	0,92	–	–	–	–
Zn	–	–	–	–	–	1,00	0,68	–	–	0,71

Полученные значения индексов геоаккумуляции *I_{geo}* подтверждают, что почвы и донные отложения антропогенно измененной части долины р. Второй Речки в отношении ванадия, хрома, кобальта, бария характеризуются как чистые (табл. 3). Почвы в отношении никеля, меди, цинка, марганца оцениваются как загрязненные в слабой и средней степени, в отношении

свинца степень загрязнения колеблется от среднего до сильного. В донных отложениях выявлено слабое загрязнение никелем, марганцем и свинцом, средняя степень загрязнения выявлена в отношении меди и цинка. Необходимо отметить, что ряды накопления отдельных металлов в почвах ($Pb > Zn > Mn > Cu$) и донных отложениях ($Zn > Cu > Mn > Pb$) заметно различаются.

Таблица 3

Величина I_{geo} и PI в почвах и донных отложениях

Номер станции	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ba	Pb	Mn
<i>I_{geo} почвы</i>									
1	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
2	-0,7	-0,6	-1,1	-0,4	-0,1	0,2	-0,6	2,2	1,4
3	-0,5	-0,3	-1,1	0,1	0,3	1,3	-0,5	2,6	0,0
4	-0,6	-0,4	-1,1	0,2	0,2	0,7	-0,5	2,1	0,1
5	-1,3	-0,4	-0,5	-0,1	0,4	0,7	-1,0	3,0	-0,5
<i>I_{geo} донные отложения</i>									
1	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
2	0,0	-0,4	-1,1	0,1	0,4	1,5	-0,3	-0,6	0,4
3	-0,2	-0,4	-1,1	-1,0	0,9	1,0	-0,4	-0,1	-0,2
4	-0,2	-0,4	-1,3	0,0	1,9	1,8	-0,4	0,6	0,9
5	-0,5	-0,5	-1,0	-0,9	0,7	0,6	-0,5	0,2	-0,6
<i>PI почвы</i>									
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	0,9	1,0	0,7	1,1	1,4	1,8	6,7	1,0	4,0
3	1,0	1,2	0,7	1,6	1,9	3,8	9,1	1,1	1,5
4	1,0	1,2	0,7	1,7	1,8	2,4	6,6	1,0	1,6
5	0,6	1,1	1,0	1,4	2,0	2,4	11,7	0,8	1,1
<i>PI донные отложения</i>									
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	1,5	1,1	0,7	1,6	2,0	4,2	1,0	1,2	1,9
3	1,3	1,1	0,7	0,8	2,8	3,0	1,4	1,2	1,3
4	1,3	1,1	0,6	1,5	5,5	5,2	2,3	1,2	2,8
5	1,0	1,0	0,8	0,8	2,5	2,3	1,7	1,1	1,0

Показатели индекса загрязнения PI характеризуют почвы как чистые только в отношении ванадия, кобальта и бария (кроме станции 3 в отношении последнего), а донные отложения чисты только в отношении кобальта. Слабозагрязненными являются почвы в отношении хрома, никеля, меди и марганца (кроме станции 2 в отношении последнего), донные отложения – в отношении ванадия, хрома, никеля, бария, а также марганца и свинца (кроме станции 4 в отношении последнего). Среднее и сильное загрязнение выявлено в почвах в отношении цинка и очень сильное в отношении свинца. Загрязнение от среднего до очень сильного характерно для донных отложений в отношении меди и цинка.

Значения I_{geo} и PI для большинства тяжелых металлов в почвах и донных отложениях урбанизированной части долины р. Второй Речки значительно выше, чем на фоновом участке. Особенно это касается цинка и свинца.

ца, источниками которых являются промышленные и транспортные выбросы. Эти данные вполне согласуются с содержанием металлов в составе атмосферных взвесей Владивостока [The response ranges ... , 2020]. Но если в донных отложениях исследованного района цинк накапливается интенсивнее, чем свинец, то в европейских странах отмечаются разнонаправленные тенденции [Heavy Metals in ... , 2019; Singovszka, Balintova, 2019].

Значения комплексного показателя загрязнения *NPI* свидетельствуют о деградации поверхностного слоя почв урбанизированной части долины р. Второй Речки и сильной степени загрязнения тяжелыми металлами. Степень загрязнения донных отложений варьирует от средней до сильной (рис. 2).

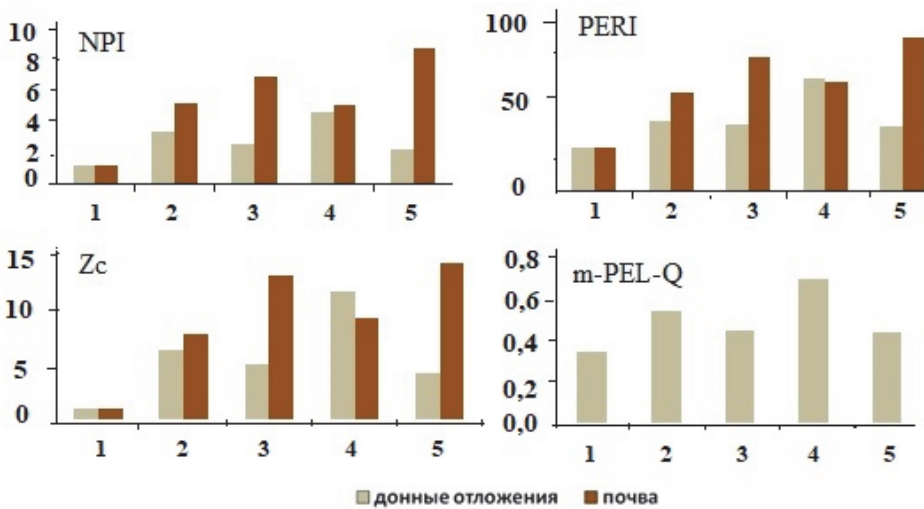


Рис. 2. Величина комплексных показателей экологического состояния почв и донных отложений на станциях 1–5

Величина показателя экологического риска *PERI* в исследованных почвах и донных отложениях невелика (26–89), что характеризует экологический риск на исследованной территории как низкий, при этом на станции 5 величина *PERI* для почв приближается к среднему уровню опасности. Полученные данные близки к параметрам *PERI* среднего течения р. Янцзы и верхнего течения р. Ганг, в большинстве рек юго-западной части Кореи и нижнего течения р. Янцзы величина *PERI* находится в пределах 95–190 и 107–192, что свидетельствует о среднем и высоком уровне опасности [Yi, Yang, Zhang, 2011; Organic matter and ... , 2020; Debnath, Singh, Sharma, 2024].

Значения показателя химического загрязнения *Zc* в долине р. Второй Речки повсеместно не превышают 16, что указывает на допустимый уровень загрязнения почв и донных отложений, но более высокие значения для почв выявлены на станциях 3–5, а для донных отложений – на станциях 2–4. В различных водотоках Санкт-Петербурга средняя величина *Zc* варьирует в пределах 30–100, что соответствует высокому уровню загрязнения [Состав и

свойства ... , 2012]. Средние значения показателя Z_c донных отложений рек Уды (3,4) и Селенги (4,8) (г. Улан-Удэ) относятся к допустимому уровню [Касимов, Корляков, Кошелева, 2017]. По суммарному показателю загрязнения донные отложения р. Воронеж (г. Липецк) соответствуют сильному и очень сильному загрязнению ($Z_c > 30,0$), источником тяжелых металлов в них являются металлургические предприятия города, неочищенные стоки ливневой канализации дорожно-транспортной сети [Лебедев, Каманина, Каплина, 2022].

По суммарному экологическому риску для бентосных организмов, определяемому величиной коэффициента $m-PEL-Q$, донные отложения р. Второй Речки слабо дифференцированы, экологический риск оценивается как средненизкий. Схожие данные получены также для отложений р. Ханда (Бангладеш), р. Нигер (в нижнем течении) (Нигер) и р. Тхэхваган (в приустьевой зоне) (Южная Корея) [Essien, Antai, Olajire, 2009; Pollution and ecological ... , 2015; Ecological Risk of ... , 2022].

Заключение

Выявлены значительные изменения в элементном составе почв и донных отложений в долине р. Второй Речки г. Владивостока под влиянием техногенной нагрузки: зафосфачивание территории и увеличение содержания железа и тяжелых металлов. Использование различных индексов загрязнения в оценке экологического состояния территории выявило неоднозначную картину. Комплексный геоэкологический индекс NPI (в отношении тяжелых металлов) характеризует загрязнение почв как сильное, а донных отложений – как среднее и сильное. Показатель химического загрязнения Z_c , напротив, позволяет оценить уровень загрязнения как допустимый, что согласуется с величиной потенциального экологического риска $PERI$, который оценивается как низкий, хотя и наблюдается значительное увеличение его абсолютных величин в жилых районах. Уровень экологического риска для бентосных организмов характеризуется как средненизкий. Для улучшения экологической ситуации необходимо провести комплекс мероприятий, направленных на снижение значительного негативного воздействия на компоненты окружающей среды в урбанизированной части долины р. Второй Речки, среди которых очистка русла реки и создание рекреационных пространств с посадками деревьев и залужением поверхности.

Список литературы

- Агрохимические методы исследования почв / под ред. А. В. Соколова. М. : Наука, 1975. 656 с.
- Богданов Н. А. Анализ информативности интегральных показателей химического загрязнения почв при оценке состояния территорий // Гигиена и санитария. 2012. № 1. С. 10–13.
- Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России / Т. В. Прокофьева [и др.] // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100104>
- Власов Д. В., Шинкарева Г. Л., Касимов Н. С. Металлы и металлоиды в донных отложениях водоемов восточной части Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5, География. 2019. № 4. С. 43–52.

Водяницкий Ю. Н. Органическое вещество в городских почвах // Почвоведение. 2015. № 8. С. 921–931. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15080110>

Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург : Уро РАН, 2009. 383 с.

Еремченко О. З., Москвина Н. В. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Пермь // Почвоведение. 2005. № 7. С. 782–789.

Жарикова Е. А. Тяжелые металлы в городских почвах: оценка содержания и риска // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 1. С. 164–173. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/1/3009>

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. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395>

Костюкова М. С. Оценка современного экологического состояния почв западного побережья озера Байкал (на примере почв прибрежной части озера, дельты и бассейна реки Голоустной) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 77–93. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.77>

Кошельков А. М., Матюшкина Л. А. Оценка химического загрязнения почв водоохраных зон малых рек города Хабаровска // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 2. С. 76–85. <https://doi.org/10.31433/1605-220X-2018-21-2-76-85>

Лебедев И. В., Каманина И. З., Каплина С. П. Содержание тяжелых металлов в водотоках города Липецка // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 1. С. 74–82. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9088>

Проблемы загрязнения водотоков урбанизированных территорий и пути их решения на примере реки Вторая Речка (Владивосток, Приморский край) / Т. С. Вшивкова [и др.] // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2021. № 9. С. 43–59. <https://doi.org/10.25221/levanidov.09.06>

Сорокина О. А., Зарубина Н. В. Содержание химических элементов в аллювиальных почвах и донных отложениях реки Уркан (бассейн реки Амур) // Почвоведение. 2013. № 6. С. 681–690. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13060105>

Состав и свойства донных отложений р. Мойки и Обводного канала (Санкт-Петербург) / А. Ю. Опекунов [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2012. № 2. С. 65–80.

Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных отложениях севера Западной Сибири / М. Г. Опекунова [и др.] // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422–439. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>

Collins A. L., Walling D. E. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins // Journal of Hydrology. 2002. N 261. P. 218–244.

Debnath A., Singh P. K., Sharma Y. C. Spatial distribution of heavy metals in the sediments of River Ganges, India: Occurrence, contamination, source identification, seasonal variations, mapping, and ecological risk evaluation // Marine pollution bulletin. 2024. N 198. P. 115910. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115910>

Distribution of heavy metals in sediment cores of Lake Pamvotis (Greece): a pollution and potential risk assessment / K. Ioannides [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. N 187. P. 4209. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4209-4>

Ecological Risk of the River Halda: A Perspective from Heavy Metal Assessment / M. A. Alam [et al.] // International journal of aquaculture and fishery science. 2022. Vol. 8. N 3. P. 066–079. <https://doi.org/10.17352/2455-8400.000080>

Essien J. P., Antai S. P., Olajire A. A. Distribution, Seasonal Variations and Ecotoxicological Significance of Heavy Metals in Sediments of Cross River Estuary Mangrove Swamp // Water Air and Soil Pollution. 2009. Vol. 197, N 1. P. 91–105. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9793-x>

Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. Water Research. 1980. Vol. 14, N 8. P. 975–1001.

Heavy Metals in Sediments of Urban Streams: Contamination and Health Risk Assessment of Influencing Factors / E. Wojciechowska [et al.] // Sustainability. 2019. Vol. 1, N 3. P. 563. <https://doi.org/10.3390/su11030563>

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. N 39. P. 20–31.

Metal and trace element assessments of bottom sediments from medium Tiete River basin, Sao Paulo State, Brazil: part II / D. I. T. Favaro [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2018. N 316. P. 805–818. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-5821-5>

Owens P. N., Xu Z. Recent advances and future directions in soils and sediments research // Journal Soils Sediments. 2011. N 11. P. 875.

Organic matter and heavy metal in river sediments of southwestern coastal Korea: spatial distribution, pollution, and ecological risk assessment / H. J. Yang [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2020. N 159. P. 111466. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111466>

Phosphorus-enriched soils of urban and suburban Nanjing and their effect on groundwater phosphorus / G. L. Zang [et al.] // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2001. N 164. P. 295301.

Pollution and ecological risk assessment of trace metals in surface sediments of the Ulsan-Onsan coast / C. I. Sun [et al.] // Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy. 2015. Vol. 18, N 4. P. 245–253. <https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2015.18.4.245>

Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination. A review / J. B. Kowalska [et al.] // Environmental Geochemistry and Health. 2018. N 40. P. 2395–2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>

Savenko V. S. Chemical composition of sediment load carried by rivers // Geochemistry International. 2007. Vol. 45, N 8. P. 816–824. <https://doi.org/10.1134/S0016702907080071>

Singovszka E., Balintova M. Enrichment Factor and Geo-Accumulation Index of Trace Metals in Sediments in the River Hornad, Slovakia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. N 222. P. 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/222/1/012023>

Sojka M., Jaskula J., Siepak M. Heavy Metals in Bottom Sediments of Reservoirs in the Lowland Area of Western Poland: Concentrations, Distribution, Sources and Ecological Risk // Water. 2019. Vol. 11, N 1. P. 56. <https://doi.org/10.3390/w11010056>

State of the environment of urban and mining area in the Selenga Transboundary River Basin (Mongolia-Russia) / N. Kasimov [et al.] // Environmental Earth Sciences. 2016. Vol. 75, N 18. P. 1283.

Source identification and assessment of heavy metal contamination in urban soils based on cluster analysis and multiple pollution indices / H. Lee [et al.] // Journal Soils Sediments. 2021. N 21. P. 1947–1961. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02716-x>

The response ranges of pulmonary function and the impact criteria of weather and industrial influence on patients with asthma living in Vladivostok / L. V. Veremchuk [et al.] // Journal of Environmental Health Science & Engineering. 2020. N 18. P. 235–242. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00458-z>

Trace metal contamination in urban soils of China / X. S. Luo [et al.] // Science of the Total Environment. 2012. Vol. 421–422. P. 17–30. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.020>

Varol M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques // Journal of Hazardous Materials. 2011. N 195. P. 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.051>

Yi Y., Yang Z., Zhang S. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin // Environmental Pollution. 2011. Vol. 159, N 10. P. 2575–2585. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011>

References

Agrokhimicheskiye metody issledovaniya pochv [Agrochemical Methods of Soil Study]. Ed. by. Sokolov A. V. Moscow, Nauka Publ., 1975, 656 p. (in Russian)

Bogdanov N.A. Analiz informativnosti integralnykh pokazatelej himicheskogo zagryaznenija pochv pri ocenke sostojanija territorij [Analysis of the informative value of integral indicators of chemical soil contamination in the evaluation of the status of areas]. *Gigiya i sanitariya* [Hygiene and sanitation], 2012, no. 1, pp. 10-13. (in Russian)

Prokof'eva T.V. et al. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system. *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, no. 10, pp. 959-967. <https://doi.org/10.1134/S1064229314100093>

Vlasov D.V., Shinkareva G.L., Kasimov N.S. Metally i metalloidy v donnykh otlozhenijah vodoemov vostochnoj chasti Moskvy [Metals and metalloids in bottom sediments of lakes and ponds of the eastern part of Moscow]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografija* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography], 2019, no. 4, pp. 43-52. (in Russian)

Vodyanitskii Y.N. Organic matter of urban soils. *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, no. 8, pp. 802-811. <https://doi.org/10.1134/S1064229315080116>

Grigor'ev N.A. *Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhnei chasti kontinentalnoi kory* [Chemical element distribution in the upper continental crust]. Ekaterinburg, UB RAS Publ, 2009. 383 p. (in Russian)

Eremchenko O.Z., Moskvina N.V. The properties of soils and technogenic surface formations in the multistory districts of Perm city. *Eurasian Soil Science*, 2005, vol. 38, no. 7, pp. 688-694. (in Russian)

Zharikova E.A. Tyazhelye metally v gorodskih pochvah: ocenka sodержaniya i riska [Assessment of heavy metals content and environmental risk in urban soils]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering], 2021, vol. 332, no. 1, pp. 164-173. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/1/3009> (in Russian)

Kasimov N.S., Korlyakov I.D., Kosheleva N.E. Raspredelenie i faktory akumuljatsii tyazhelykh metallov i metalloidov v rechnykh donnykh otlozheniyakh na territorii g. Ulan-Ude [Distribution and factors of accumulation of heavy metals and metalloids in river bottom sediments in the territory of the Ulan-Ude city]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti [RUDN Journal of Ecology and Life Safety]*, 2017, vol. 25, no. 3, pp. 380-395. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395> (in Russian)

Kostyukova M.S. Otsenka sovremennogo ekologicheskogo sostojaniya pochv zapadnogo poberezh'ya ozera Baikal (na primere pochv pribrezhnoi chasti ozera, del'ty i basseina reki Goloustnoi) [Assessment of the Current Ecological State of Soils on the Western Coast of Lake Baikal (On the Example of Soils of the Coastal Part of the Lake, the Delta and the Basin of the Goloustnaya River)]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences]. 2022, vol. 41, pp. 77-93. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.77> (in Russian)

Koshelkov A.M., Matyushkina L.A. Otsenka khimicheskogo zagryazneniya pochv vodoohrannykh zon mal'nykh rek goroda Khabarovska [Assessment of chemical soils contamination in the Khabarovsk small rivers]. *Regionalnye problem* [Regional Problems], 2018, vol. 21, no. 2, pp. 76-85. <https://doi.org/10.31433/1605-220X-2018-21-2-76-85> (in Russian)

Lebedev I.V., Kamanina I.Z., Kaplina S.P. Soderzhanie tyazhelykh metallov v vodotokakh goroda Lipetska [Content of the heavy metals in the Lipetsk city watercourses]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology], 2022, no. 1, pp. 74-82. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9088>, (In Russian)

Vshivkova T.S. et.al. Problemy zagryazneniya vodotokov urbanizirovannykh territorii i puti ikh resheniya na primere reki Vtoraya Rechka (Vladivostok, Primorskii kraj) [Problems of stream pollution located in urbanized territories and ways of solution on the Vtoraya Rechka River example (Vladivostok, Primorye Territory)]. *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* [Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings], 2021, vol. 9, pp. 43-59. <https://doi.org/10.25221/levanidov.09.06> (in Russian)

Sorokina O.A., Zarubina N.V. The content of chemical elements in alluvial soils and bottom sediments of the Urkan river (the Amur river basin). *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46, no. 6, pp. 644-653. <https://doi.org/10.1134/S1064229313060094>

Opekunov A.Yu. et al. Sostav i svoystva donnykh otlozhenii r. Moiki i Obvodnogo kanala (Sankt-Petrburg) [Structures and properties of bottom sediments of the Moiks river and the Obvodny

kanal of (Sankt-Petr'burg)]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya* [Vestniks of Saint Petersburg University. Seria 7 Geology. Geography], 2012, no. 2, pp. 65-80.

Opekunova M.G. et al. Background Contents of Heavy Metals in Soils and Bottom Sediments in the North of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 5, pp. 380-395. <https://doi.org/10.1134/S106422931902011X>

Collins A. L., Walling D. E. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. *Journal of Hydrology*, 2002, no. 261, pp. 218-244.

Debnath A., Singh P. K., Sharma Y. C. Spatial distribution of heavy metals in the sediments of River Ganges, India: Occurrence, contamination, source identification, seasonal variations, mapping, and ecological risk evaluation. *Marine pollution bulletin*, 2024, no. 198, pp. 115910. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115910>

Alam M.A. et al. Flura, Rahman MA, Ali A, Amin Chowdhury AI, Rahman MH, Moniruzzaman M, Ullah MR, Mahmud Ya. Ecological Risk of the River Halda: A Perspective from Heavy Metal Assessment. *International journal of aquaculture and fishery science*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 066-079. <https://doi.org/10.17352/2455-8400,000080>

Essien J.P., Antai S.P., Olajire A.A. Distribution, Seasonal Variations and Ecotoxicological Significance of Heavy Metals in Sediments of Cross River Estuary Mangrove Swamp. *Water Air and Soil Pollution*, 2009, vol. 197, no. 1, pp. 91-105.

Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 1980, vol. 14, no. 8, pp. 975-1001.

Wojciechowska E. et al. Heavy Metals in Sediments of Urban Streams: Contamination and Health Risk Assessment of Influencing Factors. *Sustainability*, 2019, vol. 11, no. 3, p. 563, <https://doi.org/10.3390/su11030563>

Ioannides K., Stamoulis K., Papachristodoulou C., Tziadou E., Markantonaki C., Tsodoulos I. Distribution of heavy metals in sediment cores of Lake Pamvotis (Greece): a pollution and potential risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, no. 187, 4209. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4209-4>

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, no. 39, pp. 20-31.

Favaro D.I.T. et al. Metal and trace element assessments of bottom sediments from medium Tiete River basin, Sao Paulo State, Brazil: part II. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2018, no. 316, pp. 805-818.

Owens P.N., Xu Z. Recent advances and future directions in soils and sediments research. *J. Soils Sediments*, no. 201111, p. 875.

Yang H.J. et al. Organic matter and heavy metal in river sediments of southwestern coastal Korea: spatial distribution, pollution, and ecological risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, no. 159, p. 111466, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111466>

Zang G.L. et al. Phosphorus-enriched soils of urban and suburban Nanjing and their effect on groundwater phosphorus. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 2001, no. 164, pp. 295-301.

Sun C.I. et al. Pollution and ecological risk assessment of trace metals in surface sediments of the Ulsan-Onsan coast. *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy*, 2015, vol. 18, no. 4, pp. 245-253. <https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2015.18.4.245>

Kowalska J.B. et al. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination. A review. *Environ Geochemical Health*, 2018, no. 40, pp. 2395-2420, <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>

Savenko V.S. Chemical composition of sediment load carried by rivers. *Geochemistry International*, 2007, vol. 5, no. 8, pp. 816-824. <https://doi.org/10.1134/S0016702907080071>

Singovszka E., Balintova M. Enrichment Factor and Geo-Accumulation Index of Trace Metals in Sediments in the River Hornad, Slovakia, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2019, no. 222, p. 012023, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/222/1/012023>

Sojka M., Jaskula J., Siepak M. Heavy Metals in Bottom Sediments of Reservoirs in the Lowland Area of Western Poland: Concentrations, Distribution, Sources and Ecological Risk. *Water*, 2019, vol. 11 no. 1. p. 56. <https://doi.org/10.3390/w11010056>

Kasimov N. et al. State of the environment of urban and mining area in the Selenga Transboundary River Basin (Mongolia-Russia). *Environmental Earth Sciences*, 2016, vol. 75, no. 18, 1283.

Lee Hg. et al. Source identification and assessment of heavy metal contamination in urban soils based on cluster analysis and multiple pollution indices, *J Soils Sediments*, 2021, no. 21, pp. 1947-1961, <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02716-x>

Veremchuk L.V. et al. The response ranges of pulmonary function and the impact criteria of weather and industrial influence on patients with asthma living in Vladivostok, *J. Environ. Health Sci. Engineer.*, 2020, no. 18, pp. 235-242, <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00458-z>

Luo X.S. et al. Trace metal contamination in urban soils of China. *Science of the Total Environment*, 2012, no. 421-422, pp. 17-30, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.020>

Varol M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, no. 195, pp. 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.051>

Yi Y., Yang Z., Zhang S. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 2011, vol. 15, no. 10, pp. 2575-2585, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011>

Сведения об авторах

Жарикова Елена Анатольевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Федеральный научный центр

биоразнообразия наземной биоты

Восточной Азии ДВО РАН

Россия, 690022, г. Владивосток,

просп. 100-летия Владивостока, 159

e-mail: ejarikova@mail.ru

Клышевская Серафима Владимировна

научный сотрудник

Федеральный научный центр

биоразнообразия наземной биоты

Восточной Азии ДВО РАН

Россия, 690022, г. Владивосток,

просп. 100-летия Владивостока, 159

e-mail: klyshevskaya@biosoil.ru

Попова Анастасия Дмитриевна

инженер

Федеральный научный центр

биоразнообразия наземной биоты

Восточной Азии ДВО РАН

Россия, 690022, г. Владивосток,

просп. 100-летия Владивостока, 159

e-mail: anastasia97@list.ru

Information about the authors

Zharikova Elena Anatolievna

Candidate of Sciences (Biology),

Senior Research Scientist

Federal Scientific Center of the East Asia

Terrestrial Biodiversity FEB RAS

159, 100-letiya Vladivostoka ave.,

Vladivostok, 690022, Russian Federation

e-mail: ejarikova@mail.ru

Klyshevskaya Serafima Vladimirovna

Research Scientist

Federal Scientific Center of the East Asia

Terrestrial Biodiversity FEB RAS

159, 100-letiya Vladivostoka ave.,

Vladivostok, 690022, Russian Federation

e-mail: klyshevskaya@biosoil.ru

Popova Anastasiya Dmitrievna

Engineer

Federal Scientific Center of the East Asia

Terrestrial Biodiversity FEB RAS S

159, 100-letiya Vladivostoka ave.,

Vladivostok, 690022, Russian Federation

e-mail: anastasia97@list.ru

Коды научных специальностей: 1.6.12, 1.6.21

Статья поступила в редакцию 25.03.2024; одобрена после рецензирования 11.12.2024; принята к публикации 13.12.2024

The article was submitted March, 25, 2024; approved after reviewing December, 11, 2024; accepted for publication December, 13, 2024