



УДК 631.481:504.064.2
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.40.27>

Особенности геохимического состава почв прибрежной части юго-западного Приморья

Е. А. Жарикова*

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

Аннотация. Методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии были проанализированы более 220 образцов, отобранных из верхних горизонтов основных типов почв прибрежной территории для выявления геохимического состава почв. Установлено фоновое содержание тяжелых металлов. Выявлены особенности накопления тяжелых металлов в поверхностном слое: среднее содержание значительно ниже кларка в почвах мира; существенной разницы между содержанием тяжелых металлов в почвах высоких и низких морских террас (торфяных, органо-аккумулятивных и глеевых), приречных равнин (аллювиальных, серогумусовых и перегнойно-глеевых) и останцовых возвышенностей (различных буроземов и темногумусовых подбелов) не обнаружено. Определен ряд интенсивности аккумуляции валовых форм элементов $Cu > Zn > V > Cd > Co > Ni > Pb > Cr$.

Ключевые слова: почвы, тяжелые металлы, фоновое содержание, геохимические индексы.

Для цитирования: Жарикова Е. А. Особенности геохимического состава почв прибрежной части юго-западного Приморья // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 40. С. 27–42. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.40.27>

Original article

Features of the Geochemical Composition of Soils of the Southwestern Part of the Pacific Coast of Russia

Е. А. Zharikova*

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

Abstract. The large diversity of the soil cover in the southern regions of Primorye makes it difficult to assess the current ecological state of soils on the basis of data from single background pits. More than 220 samples taken from topsoils of main types of background soils were analyzed by atomic absorption by atomic method to reveal the geochemical composition of soils in the coastal territory of the region, the background content of heavy metals was established. The features of accumulation of pollutant elements in the surface layer are revealed. The content of vanadium, chromium, cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium, and lead is much lower clark. No significant difference was found between the content of heavy metals in the soils of high and low sea terraces (Histosols, Gleysols), riverine plains (Fluvisols, Histosols), and outlier uplands (Albic Stagnoso, Cambisols). A series of the intensity of accumulation of total forms of elements $Cu > Zn > V > Cd > Co > Ni > Pb > Cr$ was determined. The average values of the various geochemical indices indicate the absence of pollution

and a low level of potential ecological risk of the soils of the study area, therefore, using the received data as background data is correct. The territories of neighboring states can be a potential source of pollution of the region during atmospheric transport due to the higher content of pollutant elements in soils.

Keywords: soils, heavy metals, background content, geochemical indices.

For citation: Zharikova E.A. Features of the Geochemical Composition of Soils of the Southwestern Part of the Pacific Coast of Russia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 40, pp. 27-42. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.40.27> (in Russian)

Введение

Человечество достигло такого уровня развития, когда степень его воздействия на природу стала общепланетарной и соизмеримой с воздействием природных процессов (геологических, климатических и др.), когда из-за несбалансированной хозяйственной деятельности остро проявился конфликт между человеком и средой его обитания. Атмосферный перенос химических элементов на большие расстояния, процессы индустриализации, интенсификации сельского хозяйства и урбанизации способствуют трансграничному и локальному загрязнению почв, которое представляет большую угрозу для окружающей среды, в частности из-за отрицательного влияния на здоровье человека и почвенные экосистемы [Водяницкий, 2009; Маркин, Корольков, 2021; Concentration, Spatial Distribution ... , 2020]. Поэтому исследования естественного геохимического разнообразия и определение фонового содержания основных тяжелых металлов (ТМ) активно проводятся во всем мире [Безносиков, Лодыгин, 2018; Пеллинен, Штельмах, Черкашина, 2019; Geochemical evaluation of ... , 2014; Maoa, Zhaob, Qina, 2020; Soil and soil ... , 2014].

Применение при мониторинговых исследованиях сведений о содержании тяжелых металлов, полученных на основании определения в единичных фоновых разрезах, для оценки состояния почв значительных территорий некорректно ввиду большого разнообразия ландшафтно-геохимических условий [Chernova, Bezuglova, 2019]. Литературные данные часто разноречивы и затрагивают, как правило, весьма узкий круг почв и элементов [Геоэкологический анализ ландшафтов ... , 2019; Landscape-geochemical zoning ... , 2014; Bryanin, Sorokina, 2019; Origin, baseline contents ... , 2018]. Для проведения более точной оценки содержания тяжелых металлов в почвах необходимо знание их локальных геохимических базовых концентраций, полученных на основании большого объема данных, поскольку именно они объективно отражают ситуацию и должны являться основой для контроля загрязнения [Background concentrations of ... , 2003].

Перечень тяжелых металлов, для которых существуют утвержденные ПДК (ОДК) в Российской Федерации, ограничен. Для территорий геохимических аномалий данные нормативы оказываются ниже фоновых значений [Vodyanitskii, 2013], а действующие нормативные документы при оценке загрязнения почв требуют применять региональное фоновое содержание поллютантов, которое зачастую отсутствует¹. Поэтому проблема определения и

¹ СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2).

уточнения фоновых показателей содержания элементов-загрязнителей стоит достаточно остро.

В Приморье быстрыми темпами идет освоение территорий опережающего развития, растет количество земель, занятых промышленным и сельскохозяйственным производством, и увеличивается площадь выделенных населению «дальневосточных гектаров». При этом арендаторы и собственники повсеместно не имеют сведений о состоянии и качестве почв полученных участков, что не способствует бережному и рациональному отношению к этому базовому компоненту природы, нередки случаи порчи и загрязнения почв.

Для выявления эколого-геохимической ситуации и оценки степени загрязнения почв в мире все чаще используют различные показатели, как простые (коэффициент концентрации PI), так и комплексные (индекс загрязнения PLI, величина потенциального экологического риска PERI и др.) [Concentration, Spatial Distribution ... , 2020; Mamut, Eziz, Mohammad, 2018; Maoa, Zhaob, Qina, 2020; Pollution indices as ... , 2018]. Применение подобных различных характеристик загрязнения тяжелыми металлами почв дает возможность объективной оценки ситуации и предоставляет важную информацию для принятия решений по исправлению ситуации при выявлении загрязнения почв.

Коэффициент концентрации (Single Pollution Index) $PI = C_i / GB$ применяется для установления загрязнения отдельными металлами и вычисления комплексных показателей загрязнения, где C_i – содержание элемента в поверхностном слое, GB – фоновое содержание. Величина $PI < 1$ указывает на отсутствие загрязнения, $1 < PI < 2$ – на слабое загрязнение, $2 < PI < 3$ – на среднее, $3 < PI < 5$ – на сильное, $PI > 5$ – на очень сильное загрязнение.

PLI – индекс загрязнения (Pollution Load Index), является геометрическим средним от коэффициента концентрации различных элементов: $PLI = (PI_1 \cdot PI_2 \cdot \dots \cdot PI_n)^{1/n}$ и свидетельствует о совокупном накоплении тяжелых металлов. При величине $PLI < 1,0$ загрязнение отсутствует [Problems in the ... , 1980; Varol, 2011].

Индекс загрязнения Nemerow (NPI, Nemerow Pollution Index) все чаще используется для оценки состояния почв, поскольку он учитывает не только долю каждого тяжелого металла, но и опасность от металла с наибольшим коэффициентом концентрации. $NPI = \sqrt{0,5(PI_{1 \max}^2 + PI_{1 \text{ave}}^2)}$, где $PI_{1 \max}$ – самое высокое значение PI среди характеризуемых металлов, а $PI_{1 \text{ave}}$ – среднее значение PI. Согласно NPI выделяют пять классов загрязнения почв: $NPI < 0,7$ – незагрязненная почва, $0,7 \leq NPI < 1,0$ – пограничное состояние, $1,0 \leq NPI < 2,0$ – слабое, $2,0 \leq NPI < 3,0$ – среднее, $NPI > 3$ – сильное загрязнение [Concentration, spatial distribution ... , 2020; Pollution indices as ... , 2018].

Суммарный показатель химического загрязнения (Z_c), принятый в России, характеризует степень химического загрязнения почв различных классов опасности². $Z_c = \sum Kc_i - (n - 1)$, где n – число определяемых компонентов,

² МУ 2.1.7.730-99. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест // Электрон. фонд правовых и нормат.-техн. документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852?ysclid=l4p3s5ks8z157907974>

Kc_i – коэффициент концентрации i -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением ($Kc_i = PI$). Уровень загрязнения почв считается допустимым при $Zc < 16$.

Показатель потенциального экологического риска (Potential Ecological Risk) $PERI = \sum PI_1 \cdot T_i$, где T_i – коэффициент токсичности i -го тяжелого металла. Значение $PERI < 90$ указывает на незначительный уровень экологической опасности, 90–180 – на средний, 180–360 – на высокий, 360–720 – на очень высокий, более 720 – на чрезвычайно высокий [Environmental quality and ... , 2016; Pollution indices as ... , 2018].

Цель работы – составить характеристику геохимического состояния, установить фоновые концентрации основных тяжелых металлов в почвах прибрежных ландшафтов юго-западного Приморья и дать оценку загрязненности почв с использованием различных геохимических индексов.

Объекты и методы исследования

Были изучены различные торфяные и глеевые почвы низких и средне-высоких слабодренированных морских террас, темногумусовые почвы высоких морских террас, буроземы типичные и темногумусовые и темногумусовые подбелы останцовых возвышенностей, различные аллювиальные, серогумусовые и перегнойно-глеевые почвы приречных равнин. Подробное описание района исследования и особенностей почвенного покрова приведены ранее [Kostenkov, Zharikova, 2018], разрезы закладывались по равномерной сетке в квадрате примерно 500×500 м. Образцы для определения ТМ отбирали из верхнего горизонта почв с глубины 0–10 см.

Количество гумуса определяется в пределах от 6,7–8,2 % в аллювиальных почвах до 10,8–12,3 % в почвах с темногумусовым горизонтом. Реакция среды колеблется от среднекислой (почвы с поверхностными минеральными горизонтами) до очень сильнокислой (торфянисто-перегнойно-глеевые, торфяные эутрофные и перегнойно-глеевые почвы) [Kostenkov, Zharikova, 2018]. Все минеральные почвы относятся к пылевато-песчаным тяжелым суглинкам и иловато-песчаным легким глинам. При оценке величины коэффициента вариации (V) выборка со значением $V < 50$ % принимается однородной; 50–70 % – недифференцированной; 70–100 % – сильно неоднородной; более 100 % – крайне неоднородной³.

Валовое содержание ТМ определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с пламенной атомизацией при растворении в смеси азотной, плавиковой и серной кислот в соответствии с М-МВИ-80-2008⁴ в сертифицированной Приморской межобластной ветеринарной лаборатории. Для калибровок прибора использовали стандартные растворы ГСО.

³ Методические указания к выполнению цикла лабораторных работ с элементами научных исследований по курсу «Математические методы в геохимических исследованиях» для студентов специальности 08.01.04. Томск : Изд-во ТПУ, 1994. 38 с.

⁴ М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии. СПб., 2008.

Фоновые концентрации ТМ в почвах рассчитывали по правилу трех сигм, при этом величина фона равнялась сумме среднего арифметического содержания элемента (M) в почвах (после исключения аномальных концентраций) и стандартного отклонения (δ). Аномальным считали содержание ТМ, превышающее $M \pm 2\delta$.

Результаты и обсуждение

Ванадий. Количество в земной коре находится в пределах 30–240 мг/кг (в среднем равно 135–136 мг), в песках и песчаниках оно составляет 75 мг, в глинах и сланцах – 120 мг [Григорьев, 2009; Greenwood, Earnshaw, 1997; Kabata-Pendias, 2011]. В природных незагрязненных почвах его количество варьирует от 20 до 250 мг, кларк в почвах равен 129 мг/кг [Kabata-Pendias, 2011; Trace Metals and ... , 2013]. Большая часть ванадия поступает в окружающую среду при сжигании ископаемого топлива [Маоа, Zhaob, Qina, 2020]. В почвах стран Тихоокеанского региона среднее содержание: в Китае составляет 82 мг/кг, Японии – 180 мг/кг [Soil and soil ... , 2014; Takeda, Kimura, Yamasaki, 2004]. В почвах заповедников Приморья оно находится в пределах 79–277 мг/кг [Origin, baseline contents ... , 2018].

В почвах исследуемого района количество ванадия в среднем составляет 12,2 мг/кг при варьировании от 4,5 до 44,0 мг/кг. Наименьшее содержание свойственно перегнойно-глеевым почвам, наибольшее – хорошо гумусированным различным буроземам, темногумусовым типичным почвам и подбелам темногумусовым (табл. 1).

Хром. В литосфере кларк хрома равен 100–112 мг/кг, в осадочных породах наименьшее содержание выявлено в песках, а наибольшее – в глинах (58 и 110 мг/кг). В природных незагрязненных почвах он лежит в пределах 7–210 мг/кг, минимум приходится на легкие почвы и торфяники (12 и 47 мг/кг) [Greenwood, Earnshaw, 1997; Kabata-Pendias, 2011]. Кларк в почвах мира варьирует в широких пределах (от 40 до 70 мг/кг), поэтому установление локальных фоновых значений хрома весьма актуально [Виноградов, 1957; Водяницкий, 2009; Background contents of ... , 2019; Trace metals and ... , 2013]. Среднее содержание в почвах Японии и Китая отличается слабо и составляет 58–61 мг/кг, в Корее оно ниже (21–55 мг/кг) [Jung, Thornton, 1996; Kabata-Pendias, 2011; Takeda, Kimura, Yamasaki, 2004; Soil and soil ... , 2014]. В почвах Северного Сахалина хрома содержится 5,7–19,2 мг/кг [Zharikova, 2017]. В буроземах Приморья содержание лежит в широком диапазоне – от 10–28 до 89–100 мг/кг [Кошелева, 2017].

В исследуемых почвах юго-западного Приморья среднее содержание хрома составляет 26,0 мг/кг и колеблется от 11,0 до 49,3 мг/кг, в почвах приграничной китайской провинции Хэйлунцзян оно намного выше (53,6 мг/кг) [Soil heavy metal ... , 2014]. Подбелы темногумусовые и темногумусовые типичные почвы отличаются минимальным содержанием хрома, торфянисто-перегнойно-глеевые, аллювиальные темногумусовые и темногумусовые типичные почвы – максимальным (см. табл.1).

Кобальт. В континентальной коре среднее содержание кобальта лежит в пределах 10–29 мг/кг, ниже оно в песках и песчаниках (примерно 13 мг/кг), выше – в глинах (19 мг/кг). Количество кобальта в почвах в среднем составляет 11,3 мг/кг, варьирует от 1 до 40 мг/кг, самые низкие значения характерны для почв прибрежно-морских равнин и торфяников. Большое количество кобальта в почвах может быть адсорбировано глинистыми минералами и гидроксидами железа и марганца [Григорьев, 2009; Greenwood, Earnshaw, 1997; Kabata-Pendias, 2011; Trace Metals and ..., 2013]. Содержание в почвах широколиственных лесов и заболоченных участков Приамурья составляет 0,8–2,0 мг/кг [Landscape-geochemical zoning ... , 2014].

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвах, мг/кг

Показатели	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Предел обнаружения, мг/кг	5,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,05	0,5
Бурозем типичный (n = 6)								
Минимум	9,2	15,0	2,8	5,0	5,5	6,0	0,05	11,3
Максимум	25,0	35,1	6,1	12,3	11,9	18,1	0,24	19,4
Среднее	15,0	27,3	4,2	8,2	10,0	10,0	0,14	15,9
V, %	40	28	29	30	25	45	50	19
Бурозем темногумусовый (n = 14)								
Минимум	5,1	13,1	1,7	1,6	3,9	4,5	0,05	5,9
Максимум	44,0	43,2	11,1	11,8	16,6	31,0	0,36	25,9
Среднее	13,3	28,2	5,1	6,8	9,8	11,3	0,11	14,7
V, %	42	31	43	31	28	49	50	27
Подбел темногумусовый (n = 43)								
Минимум	6,8	11,0	1,2	1,2	5,8	2,0	0,05	7,4
Максимум	28,0	42,1	10,4	12,4	13,7	19,0	0,25	32,1
Среднее	15,7	26,4	4,5	6,4	10,2	9,4	0,12	15,9
V, %	31	39	46	36	19	45	60	29
Темногумусовая (n = 42)								
Минимум	5,5	16,0	2,0	4,2	4,0	3,0	0,05	4,1
Максимум	29,0	47,0	13,4	16,1	36,4	36,1	0,30	22,4
Среднее	12,4	26,7	5,3	7,4	12,6	11,6	0,12	13,5
V, %	50	30	48	30	59	47	50	34
Серогумусовая (n = 8)								
Минимум	5,9	17,2	5,0	3,9	5,2	8,2	0,05	14,2
Максимум	17,0	37,0	6,9	9,1	10,9	23,4	0,14	29,7
Среднее	9,9	24,3	5,8	7,7	7,5	13,5	0,10	21,5
V, %	38	32	11	22	24	40	45	26
Перегнойно-глеевая (n = 32)								
Минимум	5,5	14,3	1,5	3,3	4,1	3,2	0,05	4,1
Максимум	19,0	30,1	8,5	10,4	26,8	27,0	0,21	21,1
Среднее	8,9	20,5	4,1	6,8	10,5	10,1	0,12	14,9
V, %	37	23	45	25	38	46	32	27

Продолжение табл./ 1

Показатели	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Торфянисто-перегнойно-глебовая (n = 12)								
Минимум	5,1	17,2	0,6	1,8	2,9	3,3	0,05	5,4
Максимум	19,0	49,3	6,4	10,8	15,1	20,1	0,25	32,5
Среднее	9,9	28,9	4,0	5,4	8,5	10,5	0,12	16,0
V, %	51	34	47	55	42	53	51	50
Торфяно-глебезем (n = 31)								
Минимум	5,5	15,1	0,7	1,0	4,4	2,2	0,05	3,9
Максимум	22,0	39,3	7,7	10,1	16,1	26,5	0,21	29,5
Среднее	11,1	23,7	4,5	6,2	8,6	11,8	0,12	14,4
V, %	43	30	37	38	30	44	40	32
Торфяная эутрофная (n = 42)								
Минимум	5,1	13,3	0,8	1,4	4,0	2,0	0,05	7,1
Максимум	21,0	40,4	7,3	9,7	14,9	28,2	0,22	33,9
Среднее	10,6	24,7	4,2	5,7	9,2	10,8	0,12	16,1
V, %	37	31	37	44	29	46	41	35
Аллювиальная темногумусовая (n = 4)								
Минимум	8,5	23,1	4,2	4,7	5,7	10,0	0,05	9,7
Максимум	12,0	30,4	6,5	8,8	10,3	22,1	0,10	17,5
Среднее	9,9	27,3	5,1	7,1	7,9	15,0	0,07	12,9
V, %	16	12	24	28	22	27	44	27
Аллювиальная гумусовая (n = 15)								
Минимум	5,5	19,3	3,5	1,4	6,5	3,2	0,05	8,7
Максимум	21,0	47,4	10,4	11,2	19,8	24,6	0,19	30,2
Среднее	11,5	32,1	6,0	7,5	11,5	11,0	0,11	16,4
V, %	34	28	32	33	29	56	55	36
Среднее для территории	12,2	26,0	4,7	6,6	10,4	10,6	0,12	15,2
Фоновые значения	17,1	33,9	6,3	8,6	12,4	13,8	0,15	18,6
Кларк в почвах мира [Kabata-Pendias, 2011]	129	59,5	11,3	29	38,9	70	0,41	27

В почвах изучаемой территории среднее количество кобальта равно 4,7 мг/кг (колеблется от 0,2 до 13,4 мг/кг). В почвах более тяжелого гранулометрического состава (буроземах темногумусовых и темногумусовых типичных) выявлено наибольшее его содержание, в торфяных горизонтах гидроморфных почв – наименьшее. В Японии содержание кобальта в почвах в среднем составляет 18 мг/кг, в почвах Китая оно сравнимо с полученными для Приморья данными [Soil and soil environmental ... , 2014; Takeda, Kimura, Yamasaki, 2004].

Никель. Среднее содержание в земной коре значительно отличается от указанных в литературных источниках (20–50 мг/кг) [Григорьев, 2009; Kabata, Pendias, 2011]. В почвах природных территорий содержится в среднем 4,0–55,0 мг/кг никеля, при этом наиболее богаты им глинистые почвы, повышено содержание Ni также в аллювиальных и вулканических почвах [Background contents of ... , 2019; Trace metals and ... , 2013]. Кларк в почвах равен 29 мг/кг [Kabata, Pendias, 2011]. В почвах Китая и Японии среднее содержание никеля отличается слабо (24–26 мг/кг) [Jung, Thornton, 1996;

Takeda, Kimura, Yamasaki, 2004; Soil and soil ... , 2014; Kong, Bitton, 2003], в почвах приграничной провинции Хэйлунцзян оно составляет 23,3 мг/кг [Soil heavy metal ... , 2014]. В буроземах Приамурья и Приморья существуют значительные различия (1,6–25 мг/кг), в аллювиальных и торфяных почвах содержание никеля невелико и равно 0,1 и 4,4 мг/кг соответственно [Геоэкологический анализ ландшафтов ... , 2019; Кошелева, 2017; Landscape-geochemical zoning ... , 2014].

В поверхностных слоях исследуемых почв побережья Приморья количество никеля меняется от 1,0 до 16,1 мг/кг, в среднем равно 6,6 мг/кг. Самые низкие значения присущи торфяно-глееземам, самые высокие – темногумусовым типичным почвам. Наибольшие значения коэффициента вариации выявлены в торфянисто-перегнойно-глеевых почвах (см. табл. 1).

Медь. В осадочных породах количество меди варьирует слабо (31–36 мг/кг), среднее содержание в земной коре оценивается как 55–68 мг/кг [Григорьев, 2009; Greenwood, Earnshaw, 1997; Kabata-Pendias, 2011]. В почвах лежит в диапазоне от 2 до 58 мг/кг, но описаны случаи содержания меди в количестве выше 100 мг/кг в естественных незагрязненных ландшафтах, кларк составляет 38,9 мг/кг [Kabata-Pendias, 2011]. Установлено, что наиболее богаты медью почвы тяжелого гранулометрического состава с большим содержанием органического вещества [Trace metals and ... , 2013]. В легких и торфянистых почвах Северного Сахалина количество меди находится в пределах 0,2–13,4 мг/кг [Zharikova, 2017]. В долине Амура в буроземах содержание равно 11 мг/кг, максимальные значения отмечены в торфяных почвах, а минимальные – в аллювиальных (18 и 4 мг/кг), на юге Приморья в буроземах о. Шкота оно колеблется от 4 до 65 мг/кг [Геоэкологический анализ ландшафтов ... , 2019; Landscape-geochemical zoning ... , 2014]. Близки по среднему содержанию (22–23 мг/кг) почвы Южной Кореи и Китая, в почвах сопредельной Приморью провинции Хэйлунцзян оно немного ниже – 18,6 мг/кг [Jung, Thornton, 1996; Takeda, Kimura, Yamasaki, 2004; Soil and soil ... , 2014; Soil heavy metal ... , 2014].

В исследованных почвах юго-западного Приморья количество меди в среднем равно 10,4 мг/кг (варьирует в диапазоне 2,9–36,6 мг/кг). Более высокое содержание выявлено в темногумусовых типичных и перегнойно-глеевых почвах, самое низкое – в торфянисто-перегнойно-глеевых почвах. Максимальный коэффициент вариации присущ темногумусовым типичным почвам (см. табл. 1).

Цинк. Кларк в литосфере составляет 70–83 мг/кг, при этом в песчаных породах количество цинка меньше, чем в глинистых (67 и 89 мг/кг) [Виноградов, 1957; Водяницкий, 2009]. Содержание в ненарушенных естественных почвах может меняться от 17 до 125 мг/кг [Kabata-Pendias, 2011]. В почвах Южной Кореи и Японии в среднем содержится 80–89 мг/кг цинка (при максимуме в глеевых почвах) [Jung, Thornton, 1996; Kim, Dho, Lee, 2015; Soil and soil environmental ... , 2014; Takeda, Kimura, Yamasaki, 2004]. В торфяных почвах прибрежных равнин Северного Сахалина количество цинка находится в диапазоне 2,7–38,9 мг/кг [Zharikoiva, 2017]. В буроземах Приамурья оно со-

составляет 19–28 мг/кг, в буроземах Приморья значительно выше – 33–119 мг/кг, наименьшее содержание цинка отмечено в аллювиальных и торфяных почвах региона (3 и 5 мг/кг соответственно) [Геоэкологический анализ ландшафтов ... , 2019; Кошелева, 2017; Landscape-geochemical zoning ... , 2014].

В верхних горизонтах изучаемых почв количество цинка находится в диапазоне 2,0–36,1 мг/кг, в среднем равно 10,6 мг/кг, что в 7 раз ниже, чем в почвах Китая в целом, в 5 раз – чем в сопредельной Приморью территории провинции Хэйлуцзян [Characterizing pollution and ... , 2020; Soil heavy metal ... , 2014]. Максимальные значения отмечены в буроземах темногумусовых и темногумусовых типичных почвах, минимальные – в темногумусовых подбелах и торфяных эутрофных почвах. Наибольшее варьирование показателя свойственно аллювиальным гумусовым почвам (см. табл. 1).

Кадмий. Относительно кларка кадмия в литосфере нет единого мнения, цифры варьируют от 0,1 до 0,16 мг/кг, наибольшее его количество выявлено в осадочных породах [Виноградов, 1957; Григорьев, 2009; Greenwood, Earnshaw, 1997; Kabata-Pendias, 2011]. В последнее время использование кадмия резко снизилось в США и Европе, но заметно возросло в Китае, поэтому отмечена тенденция к увеличению содержания кадмия в почвах вследствие атмосферного переноса. Наибольшее содержание и доступность выявлены в органогенных слоях и кислых почвах. Содержание Cd в почвах мира находится в пределах 0,1–1,0 мг/кг [Trace Metals and ... , 2013]. В фоновых почвах индустриально развитых Южной Кореи и Японии оно выше и составляет 0,3–2,1 и 0,02–3,40 мг/кг соответственно [Jung, Thornton, 1996; Takeda, Kimura, Yamasaki, 2004; Soil and soil ... , 2014]. В природных ненарушенных территориях долины Амура наименьшее содержание кадмия фиксируется в аллювиальных почвах (0,1 мг/кг), а наибольшее – в буроземах и подбурях (0,9–1,4 мг/кг) [Landscape-geochemical zoning ... , 2014]. В исследованных почвах количество кадмия колеблется в пределах 0,10–0,36 мг/кг и в среднем составляет 0,12 мг/кг, что близко к данным, полученным для почв побережья Северного Сахалина и Северо-Восточного Китая [Zharikiova, 2017; Source identification of eight ... , 2015].

Средние значения содержания кадмия в разных типах исследуемых почв различаются слабо. Максимальное содержание обнаружено в буроземах темногумусовых и темногумусовых типичных почвах, минимальное – в серогумусовых типичных и аллювиальных почвах.

Свинец. Кларк в литосфере находится в диапазоне 13–16 мг/кг [Виноградов, 1957; Григорьев, 2009; Greenwood, Earnshaw, 1997; Kabata-Pendias, 2011], кларк в почвах мира варьирует от 10 до 40 мг/кг [Водяницкий, 2009; Trace metals and ... , 2013]. В торфяных эутрофных почвах прибрежных территорий Северного Сахалина количество свинца колеблется от 2,0 до 10,1 мг/кг [Zharikiova, 2017]. В буроземах Приамурья оно в среднем составляет 8,2 мг/кг, в аллювиальных и торфяных почвах – 1,1 и 4,0 мг/кг соответственно, в буроземах южного Приморья (о. Шкота) содержание свинца более высоко (14–28 мг/кг) [Геоэкологический анализ ландшафтов ... , 2019; Landscape-geochemical zoning ... , 2014].

В верхних слоях почв прибрежной территории юго-западного Приморья количество свинца варьирует широко – от 3,7 до 33,9 мг/кг, в среднем равно 15,2 мг/кг. Эти значения близки к содержанию свинца в почвах Южной Кореи (16–40 мг/кг), но значительно ниже, чем содержание в почвах Китая (в провинции Хэйлунцзян до 119 мг/кг) и Японии (до 1100 мг/кг) [Jung, Thornton, 1996; Takeda, Kimura, Yamasaki, 2004; Soil and soil ... , 2014; Soil heavy metal ... , 2014]. Для торфяных эвтрофных, торфянисто-перегнойно-глеевых почв и темногомусовых подбелов получены более высокие показатели, для торфяно-глееземов и перегнойно-глеевых почв – более низкие (см. табл. 1).

Судя по величине коэффициента вариации, абсолютное большинство выборок являются однородными, несмотря на пестроту почвенного покрова ($V < 50\%$). Как недифференцированные характеризуются выборки торфянисто-перегнойно-глеевой почвы для ванадия, никеля, цинка, темногомусовой типичной – для меди, аллювиально-гумусовой – для цинка, а также в большинстве почв для кадмия ($V = 50\text{--}70\%$).

Полученные фоновые значения содержания тяжелых металлов в почвах прибрежной территории юго-западного Приморья намного ниже кларка в почвах мира. Наиболее существенная разница выявлена в отношении ванадия, цинка, никеля и меди. Превышения ПДК (ОДК) исследуемых потенциально токсичных элементов в почвах прибрежных ландшафтов юго-западного Приморья не выявлены.

Исходя из средних показателей коэффициента концентрации РІ, исследуемые почвы характеризуются как чистые (рис.). Установлен следующий ряд элементов по величине наибольшего накопления: $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{V} > \text{Cd} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cr}$ (табл. 2). Максимальные значения РІ в единичных случаях указывают на слабое загрязнение свинцом, никелем и хромом и на среднее загрязнение медью, цинком, ванадием, кадмием и кобальтом. Полиэлементное загрязнение выявлено в отдельных образцах темногомусовых почв (Cu, Zn, Co, Ni, Cd, V), буроземов темногомусовых (V, Cd, Zn, Co, Pb), подбелов темногомусовых (Pb, Cd, Co, V), торфяных эвтрофных почв (Zn, Pb, Cu, Co), аллювиальных гумусовых почв (Cu, Zn, Pb, Co).

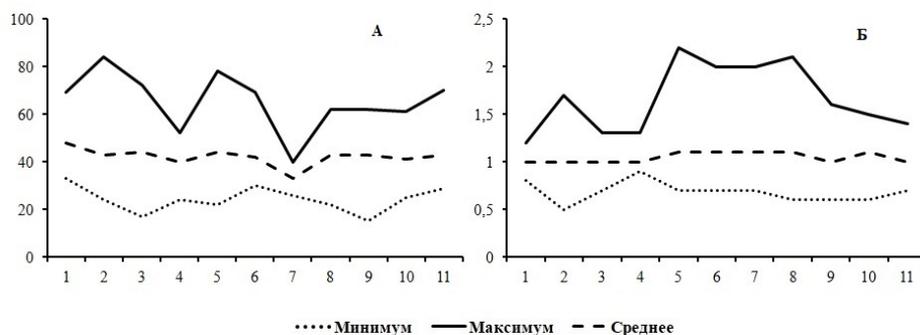


Рис. Значения показателя потенциального экологического риска PERI (А) и индекса загрязнения Nemerow (NPI) (Б). Почвы: 1 – бурозем типичный, 2 – бурозем темногомусовый, 3 – подбел темногомусовый, 4 – серогумусовая, 5 – темногомусовая, 6 – аллювиальная гумусовая, 7 – аллювиальная темногомусовая, 8 – торфяная эвтрофная, 9 – перегнойно-глеевая, 10 – торфяно-глеезем, 11 – торфянисто-перегнойно-глеевая

Таблица 2

Значения коэффициента концентрации PI

Показатели	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Минимум	0,26	0,32	0,10	0,12	0,23	0,14	0,33	0,20
Максимум	2,57	1,45	2,13	1,87	2,94	2,62	2,40	1,82
Среднее	0,72	0,77	0,76	0,77	0,83	0,79	0,79	0,82
V, %	49	34	48	38	46	53	48	37

Средние значения показателя потенциального экологического риска PERI (33–48) свидетельствуют о низком уровне экологической опасности почв прибрежных ландшафтов в отношении тяжелых металлов (см. рис.). Отчетливая связь величины уровня экологического риска с местоположением почв в рельефе не прослеживается, показатели почв, расположенных в автоморфных и подчиненных ландшафтах, слабо отличаются друг от друга. Можно только отметить, что большая часть максимальных значений PERI выявлена в почвах с минеральным хорошо гумусированным горизонтом (темногумусовых, буроземах темногумусовых и подбелах темногумусовых).

Средние значения индекса загрязнения NPI указывают на слабую деградацию поверхностного слоя большинства исследуемых почв и слабую степень загрязнения почв подчиненных ландшафтов (темногумусовых, аллювиальных темногумусовых и аллювиальных гумусовых, торфяных эутрофных почв и торфяно-глееземов). Максимальные значения NPI соответствуют уровню «среднезагрязненная» для отдельных образцов почв пониженных участков: торфяных эутрофных (2,1) и темногумусовых почв (2,2). В большинстве остальных почв максимальные значения NPI указывают на категорию «слабозагрязненная» (см. рис.). Подобная ситуация может являться следствием влияния атмосферного переноса как с территории близкорасположенного г. Владивостока [Жарикова, 2021], так и с территорий сопредельных государств, где выявлено более высокое содержание тяжелых металлов в почвах.

Как средние, так и максимальные значения комплексного коэффициента загрязнения PI (< 1) и суммарного показателя загрязнения Zc (< 16) указывают на допустимый уровень загрязнения тяжелыми металлами почв исследуемого района.

Заключение

Анализ значительного массива данных о геохимическом составе естественных почв прибрежной территории юго-западного Приморья позволил получить объективную картину содержания в них тяжелых металлов. Не выявлено существенной достоверной разницы между содержанием тяжелых металлов в почвах геохимически автономных и подчиненных ландшафтов, поэтому фоновое содержание рассчитано для исследованной территории и корректно отражает современную ситуацию. Среднее содержание валовых форм исследованных элементов ниже значений общемировых кларков. Содержание тяжелых металлов в почвах в абсолютном большинстве случаев намного ниже, чем в почвах близлежащих Японии, Южной Кореи и Китая, поэтому нельзя исключить возможности загрязнения российской территории при глобальном атмосферном переносе.

Детализировано распределение тяжелых металлов в различных почвах прибрежной зоны, и установлен ряд интенсивности их накопления в поверхностном слое: $Cu > Zn > V > Cd > Co > Ni > Pb > Cr$. Средние значения коэффициента концентрации PI указывают на отсутствие загрязнения в исследуемых почвах. Немногочисленные максимальные значения позволяют говорить о накоплении некоторых элементов, в отдельных образцах почв выявлено полиэлементное загрязнение.

Судя по средним показателям NPI , большинство почв прибрежной территории характеризуются как слабозагрязненные, значения комплексных геохимических показателей PLI , Zs и $PERI$ свидетельствуют о допустимом уровне загрязнения и отсутствии потенциального экологического риска. Поэтому полученные данные о содержании тяжелых металлов на данной территории могут служить фоновыми при проведении мониторинговых исследований и инженерно-экологических изысканий.

Список литературы

- Безносиков А. А., Лодыгин Е. Д. Геохимическая оценка экологического состояния почв // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 7. С. 623–628. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-7-623-628>
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М. : Изд-во АН СССР, 1957. 237 с.
- Водяницкий Ю. Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2009. 95 с.
- Геоэкологический анализ ландшафтов острова Шкота (Японское море) / К. С. Ганзей, А. Г. Киселева, Н. Ф. Пшеничникова, И. М. Родникова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 3. С. 63–74.
- Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург : Уро РАН, 2009. 383 с.
- 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>
- Кошелева Ю. А. Концентрация Ni , Cr и Zn в почвах особо охраняемых территорий Приморского края // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 106–109.
- Маркин Н. С., Корольков А. Т. Геохимическая характеристика почв наиболее загрязненной части Балея (Забайкальский край) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 35. С. 71–83. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.71>
- Пеллинен В. А., Штельмах С. И., Черкашина Т. Ю. Химический состав почв предгорных степей острова Ольхон // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 27. С. 90–110. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.90>
- Background concentrations of heavy metals in Soils of southern Western Siberia / V. B. Ilin, A. I. Syso, N. L. Baidina, G. A. Konarbaeva, A. S. Cherevko // Eurasian Soil Science. 2003. Vol. 36. N 5. P. 494–500.
- Background Contents of Heavy Metals in Soils and Bottom Sediments in the North of Western Siberia / M. G. Opekunova, A. Y. Opekunov, S. Y. Kukushkin, A. G. Ganul // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52, N 4. P. 380–395. <https://doi.org/10.1134/S106422931902011X>
- Bryanin S. V., Sorokina O. A. Effect of soil properties and environmental factors on chemical compositions of forest soils in the Russian Far East // Journal of Soils and Sediments. 2019. Vol. 19. P. 1130–1138. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2141-x>
- Characterizing pollution and source identification of heavy metals in soils using geochemical baseline and pMf approach / H. H. Jiang, L. M. Cai, H. H. Wen, J. Luo // Scientific RepoRts. 2020. Vol. 10. Art. N 6460. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63604-5>

Chernova O. V., Bezuglova O.S. Use of Background concentrations of heavy metals for regional monitoring of soil contamination by the example of Rostov oblast // *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52, N 8. P. 1007–1017. <https://doi.org/10.1134/S1064229319080040>

Concentration, Spatial Distribution, Contamination Degree and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Urban Soils across China between 2003 and 2019. A Systematic Review / S. Tong, H. Li, L. Wang, M. Tudi, L. Yang // *International Journal Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. P. 3099. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093099>

Environmental quality and sources of heavy metals in the topsoil based on multivariate statistical analyses: a case study in Laiwu City, Shandong Province, China / L. Yu, J. Cheng, J. Zhan, A. Jiang // *Natural Hazards*. 2016. Vol. 81. P. 1435–1445. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2130-y>

Geochemical evaluation of land quality in China and its applications / Z. Yang, T. Yu, Q. Hou, X. Xia, H. Feng, C. Huang, L. Wang, Y. Lv, M. Zhang // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 139. P. 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.07.014>

Greenwood N.N., Earnshaw A. Chemistry of the Elements. Second Edition. Butterworth-Heinemann, 1997. 1359 p.

Jung M.C., Thornton I. Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea // *Applied Geochemistry*. 1996. Vol. 11. P. 53–59.

Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Taylor and Francis Group, LLC, 2011, 505 p.

Kim S. D., Dho H. S., Lee S. J. Contamination of soil with heavy metals drained out from abandoned mines in the south-west region of Korea // *Environment Protection Engineering*. 2015. Vol. 41. N 3. P. 61–72. <https://doi.org/10.5277/epel50305>

Kong C., Bitton G. Correlation Between Heavy Metal Toxicity and Metal Fractions of Contaminated Soils in Korea I. // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2003. Vol. 70. P. 557–565.

Kostenkov N. M., Zharikova E. A. Soils of the Southwestern Part of the Pacific Coast of Russia // *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. N 2. P. 140–152. <https://doi.org/10.1134/S1064229318020059>

Landscape-geochemical zoning of the Amur basin (Russian territory) / A.F. Makhinova, A.N. Makhinov, V.A. Kuptsova, S. Lui, V.V. Ermoshin // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2014. Vol. 8. N 2. P.138–150. <https://doi.org/10.1134/S1819714014020043>

Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination – A review / Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. // *Environ Geochemical Health*. 2018. Vol. 40. P. 2395–2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>

Mamut A, Eziz M., Mohammad A. Pollution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soils in Yanqi County, Xinjiang, Northwest China // *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. N 8. P. 958–993. <https://doi.org/10.1134/S1064229318080082>

Maoa Z., Zhaob H., Qina Z. Assessment of Cd–Pb Pollution in Soils of the Youjiang River Basin, South China // *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53, N 6. P. 829–837. <https://doi.org/10.1134/S1064229320060150>

Origin, baseline contents, and vertical distribution of selected trace lithophile elements in soils from nature reserves, Russian Far East / Y. O. Timofeeva, Y. A. Kosheleva, V. A. Semal, M. L. Burdukovskii // *Journal Soils Sediments*. 2018. Vol. 18. P. 968–982. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1847-5>

Problems in the assessment of heavy metals in estuaries and the formation pollution index / D. C. Tomlinson, J. G. Wilson, C. R. Harris, D. W. Jeffrey // *Helgoland Marine Research*. 1980. Vol. 33. P. 566–575.

Soil and soil environmental quality monitoring in China: A review / Y. Teng, J. Wua, S. Lu, Y. Wang, X. Jiao, L. Song // *Environment International*. 2014. Vol. 69. P. 177–199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.014>

Soil heavy metal concentrations and their typical input and output fluxes on the southern Songnen Plain, Heilongjiang Province, China / X. Xia, Z. Yang, Y. Cui, Y. Li, O. Hou, T. Yu // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 139. P. 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.03>

Source identification of eight heavy metals in grassland soils by multivariate analysis from the Baicheng–Songyuan area, Jilin Province, Northeast China / Y. Chai, J. Guo, S. Chai, J. Cai, L. Xue, Q. Zhang // *Chemosphere*. 2015. Vol. 134. P. 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.008>

Takeda A., Kimura K., Yamasaki S. Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group and agricultural use // *Geoderma*. 2004. Vol. 119. P. 291–307. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.08.006>

Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3-th edition. // Springer Science+Business Media Dordrecht. 2013. 613 p.

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. Vol. 195. P. 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.051>

Vodyanitskii Yu. I. Contamination of soils with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytic review) // *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. N 7. P. 793–801 (2013). <https://doi.org/10.1134/S1064229313050153>

Zharikova E. A. Geochemical Characterization of Soils of the Eastern Coast of the Northern Sakhalin Lowland // *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. N 1. P. 34–41. <https://doi.org/10.1134/S106422931701015X>

References

Beznosikov A.A., Lodygin E.D. Geokhimicheskaya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochv [Geochemical assessment of ecological state of soils]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation], 2018, vol. 97, no. 7, pp. 623–628. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-7-623-628> (in Russian)

Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkikh i rasseiannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and trace elements in soils]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1957, 237 p. (in Russian)

Vodyanitskii Yu.N. *Tyazhelye i sverkhtyazhelye metally i metalloidy v zagryaznennykh pochvakh* [Heavy and Superheavy Metals and Metalloids in Polluted Soils]. Moscow, Dokuchaev Soil Science Inst. Publ, 2009, 95 p. (in Russian)

Ganzei K.S., Kiseleva A.G., Pshenichnikova N.F., Rodnikova I.M. Geoekologicheskii analiz landshaftov ostrova Shkota (Yaponskoe more) [Geoecological analysis of Shkota island landscapes (The Sea of Japan)]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology], 2019, no. 3, pp. 63–74. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019363-74> (in Russian)

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

Zharikova E.A. Tyazhelye metally v gorodskikh pochvakh: ochenka sodержaniya i riska [Assessment of heavy metals content and environmental risk in urban soils]. *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)

Kosheleva Yu.A. Kонтсentratsiya Ni, Cr i Zn v pochvakh osobo okhranyaemykh territorii Primorskogo kraya [Concentration of Ni, Cr and Zn in the nature reserve soils of Primorsky region] *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2017, no. 2. pp. 106–109. (in Russian)

Markin N.S., Korolkov A. T. Geokhimicheskaya harakteristika pochv naibolee zagryaznennoy chasti Baleja (Zabajkal'skij kraj) [Chemical Composition of Soil of Piedmont Dry Steppes of the Olkhon Island]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2021, vol. 35, pp. 71–83. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.71> (in Russian)

Pellinen V.A., Shtelmah S I., Cherkashina T.Ju. Himicheskij sostav pochv predgornyykh stepej ostrova Olhon [Chemical Composition of Soil of Piedmont Dry Steppes of the Olkhon Island]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2019, vol. 27, pp. 90–110. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.90> (in Russian)

Ilin V.B., Syso A.I., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. Background concentrations of heavy metals in Soils of southern Western Siberia. *Eurasian Soil Science*, 2003, vol. 36, no. 5, pp. 494-500.

Opekunova M.G., Opekunov A.Y., Kukushkin S.Y., Ganul A.G. 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>

Bryanin S.V., Sorokina O.A. Effect of soil properties and environmental factors on chemical compositions of forest soils in the Russian Far East. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, vol. 19, pp. 1130-1138. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2141-x>.

Jiang H.H., Cai L.M., Wen H.H., Luo J. Characterizing pollution and source identification of heavy metals in soils using geochemical baseline and pMf approach. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10 (6460). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63604-5>

Chernova O.V., Bezuglova O.S. Use of Background concentrations of heavy metals for regional monitoring of soil contamination by the example of Rostov oblas. *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 8, pp. 1007-1017. (2019). <https://doi.org/10.1134/S1064229319080040>

Tong S., Li H., Wang L., Tudi M., Yang L. Concentration, Spatial Distribution, Contamination Degree and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Urban Soils across China between 2003 and 2019. A Systematic Review. *International Journal Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, pp. 3099. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093099>

Yu L. Cheng J., Zhan J., Jiang A. Environmental quality and sources of heavy metals in the topsoil based on multivariate statistical analyses: a case study in Laiwu City, Shandong Province, China. *Natural Hazards*, 2016. vol. 81. pp. 1435-1445. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2130-y>

Yang Z., Yu T., Hou Q., Xia X., Feng H., Huang C., Wang L., Lv Y., Zhang M. Geochemical evaluation of land quality in China and its applications. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, vol. 139. pp. 122-135. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.07.014>

Greenwood N.N., Earnshaw A. *Chemistry of the Elements. 2-nd ed.* Butterworth-Heinemann, 1997. 1359 p.

Jung M.C., Thornton I. Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea. *Applied Geochemistry*, 1996, vol. 11. pp. 53-59.

Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants. 4th ed.* Taylor and Francis Group, LLC, 2011, 505 p.

Kim S.D., Dho H.S., Lee S.J. Contamination of soil with heavy metals drained out from abandoned mines in the south-west region of Korea. *Environment Protection Engineering*, 2015, vol. 41, no. 3, pp. 61-72. <https://doi.org/10.5277/epel50305>

Kong C., Bitton G. Correlation Between Heavy Metal Toxicity and Metal Fractions of Contaminated Soils in Korea I. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2003, vol. 70, pp. 557-565.

Kostenkov N. M., Zharikova E. A. Soils of the Southwestern Part of the Pacific Coast of Russia. *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 2, pp. 140-152. <https://doi.org/10.1134/S1064229318020059>

Makhinova A.F., Makhinov A.N., Kuptsova V.A., Lui S., Ermoshin V.V. Landscape-geochemical zoning of the Amur basin (Russian territory). *Russian Journal of Pacific Geology*, 2014, vol. 8, no. 2, pp. 138-150. <https://doi.org/10.1134/S1819714014020043>

Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review. *Environ Geochemical Health.*, 2018, vol. 40. pp. 2395-2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>

Mamut A., Eziz M., Mohammad A. Pollution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soils in Yanqi County, Xinjiang, Northwest China. *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 8, pp. 958-993. <https://doi.org/10.1134/S1064229318080082>

Maoa Z., Zhaob H., Qina Z. Assessment of Cd–Pb Pollution in Soils of the Youjiang River Basin, South China. *Eurasian Soil Science*, 2020, vol. 53, no. 6, pp. 829-837. <https://doi.org/10.1134/S1064229320060150>

Timofeeva Y.O., Kosheleva Y.A., Semal V.A., Burdukovskii M.L. Origin, baseline contents, and vertical distribution of selected trace lithophile elements in soils from nature reserves, Russian

Far East. *Journal Soils Sediments*, 2018, vol. 18, pp. 968-982. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1847-5>

Tomlinson D.C., Wilson J.G., Harris C. R., Jeffrey D. W. Problems in the assessment of heavy metals in estuaries and the formation pollution index. *Helgoland Marine Research*, 1980, vol. 33. pp. 566-575.

Teng Y., Wua J., Lu S., Wang Y., Jiao X., Song L. Soil and soil environmental quality monitoring in China: A review. *Environment International*, 2014, vol. 69. pp. 177-199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.014>

Xia X., Yang Z., Cui Y., Li Y., Hou O., Yu T. Soil heavy metal concentrations and their typical input and output fluxes on the southern Song-nen Plain, Heilongjiang Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, vol. 139. pp. 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.03>

Chai Y., Guo J., Chai S., Cai J., Xue L., Zhang Q. Source identification of eight heavy metals in grassland soils by multivariate analysis from the Baicheng–Songyuan area, Jilin Province, Northeast China. *Chemosphere*, 2015, vol. 134. pp. 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.008>

Takeda A., Kimura K., Yamasaki S. Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group and agricultural use. *Geoderma*, 2004, vol. 119, pp. 291-307. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.08.006>

Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3th ed. Springer Science+Business Media Dordrecht. 2013. 613 p.

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, vol. 195. pp. 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.051>

Vodyanitskii Yu. I. Contamination of soils with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytic review). *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46, no. 7, pp. 793-801. <https://doi.org/10.1134/S1064229313050153>

Zharikova E. A. Geochemical Characterization of Soils of the Eastern Coast of the Northern Sakhalin Lowland. *Eurasian Soil Science*, 2017, vol. 50, no. 1, pp. 34-41 (2017). <https://doi.org/10.1134/S106422931701015X>

Сведения об авторе

Жарикова Елена Анатольевна
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Федеральный научный центр
биоразнообразия ДВО РАН
Россия, 690022, г. Владивосток,
пр. 100-летия Владивостока, 159
e-mail: ejarikova@mail.ru

Information about the author

Zharikova Elena Anatolievna
Candidate of Sciences (Biology),
Senior Research Scientist
Federal Scientific Center of the East Asia
Terrestrial Biodiversity FEB RAS
159, Stoletiya st., Vladivostok, 690022,
Russian Federation
e-mail: ejarikova@mail.ru

Коды научных специальностей: 1.6.12, 1.6.21.

Статья поступила в редакцию 20.12.2021; одобрена после рецензирования 04.04.2022; принята к публикации 07.06.2022
The article was submitted **December 12, 2021**; approved after reviewing **April, 4, 2022**; accepted for publication **June, 7, 2022**