

УДК 504.1(571.55)
DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4390
Шифр специальности ВАК: 1.6.10 (25.00.11); 1.6.21 (25.00.36)

Эколого-геохимическая оценка почв селитебных территорий Восточного Забайкалья

Б.Н. Абрамов, Т.Г. Цыренов✉, Н.Ю. Михеева, Р.А. Филенко, М.Т. Усманов

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Росси, г. Чита

✉master.of.pistols@mail.ru

Аннотация. Актуальность. Загрязнение окружающей среды отходами горнодобывающей промышленности относится к числу наиболее актуальных экологических проблем. **Цель:** определение степени загрязнения почв селитебных территорий Восточного Забайкалья. **Объекты:** суммарная загрязненность почв по формуле Саета (Z_c) в 30 населенных пунктах Восточного Забайкалья, в том числе в 14 населенных пунктах, связанных с добычей полезных ископаемых. **Методы.** Для установления степени загрязненности почвы населенных пунктах были объединены в следующие группы: населенные пункты при золоторудных, молибденовых свинцово-цинковых и редкометалльных месторождениях, а также населенные пункты, не связанные с добычей полезных ископаемых. Фактический материал получен при проведении исследований по базовым проектам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН с 2000 по 2022 гг. Кроме этого, использованы опубликованные данные и материалы территориальных геологических фондов (г. Чита). Для определения концентраций химических элементов использован рентгенофлуоресцентный метод в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ), ICP-MS ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита). **Результаты.** Среди рассматриваемых групп нп. установлены следующие показатели суммарные степени загрязненности почв (Z_c): горнорудные населенных пунктов свинцово-цинковых месторождений – 68,87; золоторудных – 30,67; молибденовых – 32,25; редкометалльных – 0,03; населенных пунктов, не связанных с горнорудной деятельностью, – 0,32. По суммарной степени загрязненности почв Z_c населенные пункты свинцово-цинковых месторождений соответствуют чрезвычайно опасным, молибденовых месторождений – опасным; золоторудных месторождений – умеренно опасным; населенные пункты редкометалльных месторождений и населенные пункты, не связанные с горнорудной деятельностью, – низким уровням загрязнения.

Ключевые слова: почвы населенных пунктов, токсичные элементы, селитебные территории, суммарная степень загрязнения почв, Восточное Забайкалье

Для цитирования: Эколого-геохимическая оценка почв селитебных территорий Восточного Забайкалья / Б.Н. Абрамов, Т.Г. Цыренов, Н.Ю. Михеева, Р.А. Филенко, М.Т. Усманов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 9. – С. 84–93. DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4390

UDC 504.1(571.55)
DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4390

Ecological and geochemical assessment of soils in residential areas of Eastern Transbaikalia

B.N. Abramov, T.G. Tsyrenov✉, N.Yu. Mikheeva, R.A. Filenko, M.T. Usmanov

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Chita, Russian Federation*

✉master.of.pistols@mail.ru

Abstract. Relevance. Environmental pollution by mining wastes is one of the most urgent environmental problems. **Aim.** To determine the degree of soil pollution in the residential areas of Eastern Transbaikalia. **Objects.** Total soil pollution according to the Saet formula (Z_c) was studied in 30 settlements of Eastern Transbaikalia, including 14 settlements related to mining.

Methods. In order to determine the degree of soil contamination, the settlements were grouped: settlements at gold ore, molybdenum lead-zinc and rare-metal deposits, as well as settlements not related to mining. The factual material was obtained during the research under the basic projects of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences from 2000 to 2022. In addition, published data and materials of the territorial geological funds (Chita) were used. The X-ray fluorescence method was used to determine the concentrations of chemical elements in analytical laboratories of the Geological Institute of SB RAS (Ulan-Ude), ISP-MS of ZAO "SGS Vostok Limited" (Chita). **Results.** Among the considered groups of settlements the following indicators of total soil contamination degree (Z_c) were established: mining settlements of lead-zinc deposits – 68.87; gold deposits – 30.67; molybdenum deposits – 32.25; rare-metal deposits – 0.03; settlements not related to mining activity – 0.32. According to the total degree of soil contamination Z_c , the settlements of lead-zinc deposits correspond to extremely hazardous, molybdenum deposits – hazardous; gold deposits – moderately hazardous; the settlements of rare-metal deposits and the ones not related to mining activities – low levels of pollution.

Keywords: soils of settlements, toxic elements, residential territories, total degree of soil pollution, Eastern Transbaikalia

For citation: Abramov B.N., Tsyrenov T.G., Mikheeva N.Yu., Filenko R.A., Usmanov M.T. Ecological and geochemical assessment of soils in residential areas of Eastern Transbaikalia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 9, pp. 84–93. DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4390

Введение

Восточное Забайкалье относится к числу старейших горнодобывающих регионов России. На территории Забайкальского края известно более 1000 рудопоявлений и месторождений золота, молибдена, олова, вольфрама редкометаллических и полиметаллических месторождений (рисунок). В течение 2019–2022 гг. сотрудники Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН в рамках базовых проектов провели опробование почв населенных пунктов (нп.) Восточного Забайкалья. Были рассчитаны суммарные показатели загрязнения почв (Z_c) [1] в 30 населенных пунктах, из них 14 являются горнорудными поселениями, в пределах которых находится инфраструктура горно-обогачительных комбинатов (ГОК). Для установления степени загрязненности почвы нп. были объединены в следующие группы: нп. при золоторудных, молибденовых свинцово-цинковых и редкометаллических месторождениях, а также нп., не связанные с добычей полезных ископаемых. Одной из важных экологических проблем является состояние хвостохранилищ токсичных отходов горнорудного производства, которое влияет на все компоненты природной среды. Так, например, известно, что почвенный слой территорий, прилегающих к хвостохранилищам, интенсивно загрязнен и степень этого загрязнения напрямую зависит от концентраций токсичных элементов в хвостохранилищах и от близости расположения к ним [2–19].

В нп., связанных с работой ГОК, наблюдается неблагоприятная экологическая обстановка вследствие выбросов токсичных соединений в атмосферу, загрязнения водных объектов и почв стоками с хвостохранилищ, содержащих токсичные металлы. Непосредственными объектами техногенного загрязнения служат воды, почвы, атмосферный воздух, растительные и животные организмы и микро-

организмы, а также человек. Элементный состав почв селитебных территорий является одним из важных условий безопасного проживания населения [20].

При изучении хвостохранилищ особое внимание уделяют минералогическому анализу с выделением гипергенных стадий минералообразования. Выделяют следующие стадии их трансформации в зоне окисления: сульфиды–сульфаты–карбонаты (окислы). Минералы сульфатной стадии обладают наибольшей растворимостью и представляют наибольшую опасность для окружающей среды. Хвостохранилища изучаемых месторождений отличаются составом пород и руд, разным временным интервалам их образования. Большое значение имеет временной интервал их существования. Время заложения хвостохранилищ золоторудных и оловополиметаллических месторождений составляет более 60 лет, золоторудных (кроме Александровского месторождения), полиметаллических месторождений – 30–40 лет, молибденовых – более 20 лет. Процесс перехода сульфидных минералов в окисленные формы занимает 150–200 лет. Хвостохранилища, заложенные позднее, характеризуются меньшими степенями гипергенных преобразований. Степень гипергенных преобразований зависит также от количества и состава сульфидов. Хвостохранилища с повышенными содержаниями сульфидов характеризуются более высокой кислотностью водных растворов, являющихся главными факторами выщелачивания и миграции токсикантов. При окислении сульфидов хвостохранилищ происходит миграция элементов, в том числе и токсичных, во все компоненты природной среды [21].

Продукты деятельности ГОК оказывают неблагоприятное воздействие на все жизнеобеспечивающие среды: почвы, воздух, воду, растительность, аккумулирующие токсичные химические элементы.

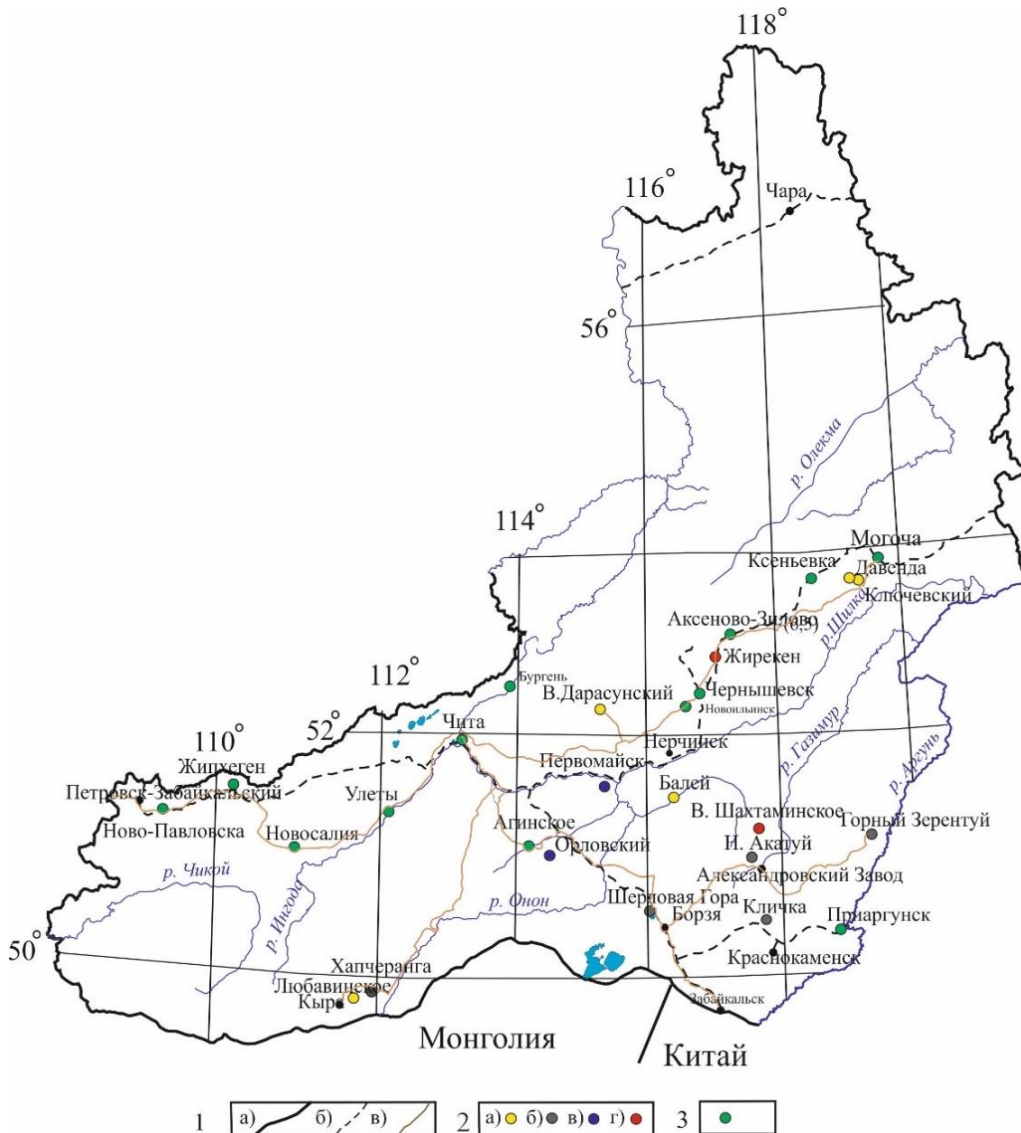


Рисунок. Схема опробования селитебных почв Восточного Забайкалья; 1 – а) административные и государственные границы; б) железные дороги; в) автомобильные дороги; 2 – нп. горнорудных районов при месторождениях: а) золота; б) свинца, цинка, олова; в) редких металлов; г) молибдена; 3 – нп., не связанные с горнорудной деятельностью

Figure. Scheme of testing residential soils of Eastern Transbaikalia 1 – а) administrative and state borders; б) railways; в) highways; 2 – settlements of mining districts with deposits: а) gold; б) lead, zinc, tin; в) rare metals; г) molybdenum; 3 – settlements not related to mining activities

Население в городских поселениях с горнорудными предприятиями, в сравнении с населением нп., не имеющими их, значительно чаще подвержено заболеваниям. В 1994–1996 гг. Восточно-Сибирский научный центр Российской академии медицинских наук (г. Иркутск) проводил работы в г. Балей. Цель исследований заключалась в обосновании территории г. Балей как зоны экологического неблагополучия [22]. Анализ показал, что в структуре заболеваемости выделены следующие особенности: патология органов кровообращения (более 15 %, а в среднем по РФ – 6,8 %), болезни органов дыхания, часто отмечаются анемия, патология ор-

ганов слуха и зрения, как врожденная (нейросенсорная потеря слуха, афакия, катаракта), так и возникающая в более поздние сроки. Образаемость по поводу данного заболевания в несколько раз превышает таковую в соседних районах Забайкальского края [22].

Изучением влияния хвостохранилищ на компоненты природной среды в Восточном Забайкалье занимались многие исследователи [23–32].

Основной задачей исследования является установление степени суммарного загрязнения селитебных почв нп. Восточного Забайкалья.

Методы исследования

Для расчета потенциальной экологической опасности использованы данные по содержаниям элементов в почвах нп. и локальных фонах. Сведения по концентрациям химических элементов получены при проведении исследований по базовым проектам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН. Кроме того, использованы опубликованные данные и сведения территориального геологического фонда по Забайкальскому краю (г. Чита). Для определения элементного состава проб почв применялся рентгенофлуоресцентный анализ в Геологическом институте СО РАН (г. Улан-Удэ) и ICP-MS в ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита). Глубина отбора проб на анализы составляла 0–10 см. Вес грунтовой пробы составлял 1,0 кг. Пробы в нп. отбирались главным образом вдоль основных улиц и автотрасс. Пробы для определения фоновых концентраций элементов в почвах отобраны вне зоны влияния техногенных объектов, в водораздельных частях ландшафтов, на удалении от них от нескольких сотен метров до 1–2 км.

Геохимические показатели загрязнения почв населенных пунктов Восточного Забайкалья

Рассмотрим распределение химических элементов первого, второго и третьего класса опасности в почвах селитебных территорий Восточного Забайкалья. По классу опасности химические элементы подразделяются на три класса: I класс – As, Cd, Hg, Pb, Zn; II класс – Ni, Cu, Sb, Cr; III класс – Mn, V [33]. В подвижной форме ко второму классу также относят Co. Согласно СанПиН 3685-21, такие элементы, как Sn, Mo, W и Sr, не имеют конкретного ПДК для почв и поэтому не имеют в настоящее время конкретного класса опасности. Тем не менее в водных средах W и Sr относятся ко II, а Sn и Mo – к III классу опасности. В недействующем на сегодняшний день ГОСТ 17.4.1.02-83 данные элементы также принадлежат ко II и III классам опасности [34]. Поэтому в текущем исследовании для обозначения классов опасности дополнительно использована ссылка на недействующий ГОСТ, что не имеет существенного значения для обсуждения результатов.

При расчетах коэффициентов концентраций элементов брались в расчет средние содержания элементов в почвах нп. по А.П. Виноградову [35]. По данным В.А. Алексеенко и др. средние содержания токсичных элементов в почвах селитебных территорий уменьшаются по мере снижения числа жителей в нп. [36]. В Восточном Забайкалье число жителей в нп. соответствуют малым нп. (таблица). Для оценки показателя загрязнения почв рассчитан суммарный показатель загрязнения (Z_c): [1]

$$Z_c = K_{ci} + \dots + K_{cn} - (n - 1), \quad (1)$$

где n – количество учитываемых химических элементов; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения, превышающий единицу; $K_{ci} = C_i / C_{fi}$, где C_i – фактическое содержание i -го химического элемента в почвах и грунтах, мг/кг; C_{fi} – фоновое содержание i -го химического элемента в почвах и грунтах мг/кг. Значения, характеризующие суммарное загрязнение Z_c по уровню загрязнения, имеют следующие диапазоны: $Z_c < 16$ – низкий уровень; $16 < Z_c < 32$ – средний, умеренно опасный; $32 < Z_c < 64$ – высокий, опасный; $64 < Z_c < 128$ – максимальный, чрезвычайно опасный [1].

Для изучения степени влияния конкретного химического элемента в рассматриваемой выборке рассчитаем индексы геоаккумуляции (I_{geo}) в почвах нп. по методике, предложенной Г. Мюллером. Для вычислений применялась следующая формула [37]:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5BE_n}, \quad (2)$$

где C_n – измеренная концентрация соединений тяжелых металлов в образце; BE_n – среднее геохимическое фоновое значение измеряемых элементов.

Значения индекса подразделяются на следующие уровни загрязненности: $I_{geo} \leq 0$ – практически незагрязненный; $0 < I_{geo} \leq 1$ – незагрязненный до умеренно загрязненного; $1 < I_{geo} \leq 2$ – умеренно загрязненный; $2 < I_{geo} \leq 3$ – средне загрязненный; $3 < I_{geo} \leq 4$ – сильно загрязненный; $4 < I_{geo} \leq 5$ – сильно загрязненный до чрезмерно загрязненного; $I_{geo} > 5$ – чрезмерно загрязненный.

Результаты исследования

Содержания элементов в почвах горняцких поселков в среднем на порядок превышают таковые в почвах нп., не связанных с горнорудной деятельностью. Результаты расчета суммарного показателя загрязнения почв (Z_c) указывают на то, что селитебные почвы нп, при горно-обогажительных комбинатах в среднем на порядок превышают таковые показатели в почвах нп., не связанных с горнорудной деятельностью (таблица).

Установлены следующие средние значения суммарных показателей степени загрязнения рассматриваемых групп нп.: нп. при свинцово-цинковых месторождениях – $Z_c = 68,87$; золоторудных – $Z_c = 30,67$; молибденовых – $Z_c = 32,25$; редкометалльных $Z_c = 0,03$; нп., не связанных с горнорудной деятельностью – $Z_c = 0,32$. Разные значения показателей загрязнения объясняются разными содержаниями токсичных элементов в техноземах хвостохранилищ. Степень загрязнения почв рабочих поселков при горно-обогажительных комбинатах в основном соответствует опасным и умеренно опасным показателям месторождения (таблица). Почвы нп., не связанных с горнорудной деятельностью, соответствуют низким показателям загрязненности.

Таблица. Эколого-геохимические показатели состояния почв в населенных пунктах Восточного Забайкалья (содержания элементов в г/т)

Table. Ecological and geochemical indicators of soil condition in settlements of Eastern Transbaikalia (content of elements in g/t)

Элементы/Elements	As	Pb	Zn	Cd	Cu	Sn	Mo	Sb	Ba	Sr
К	5	10	50	0,5	20	10	3	10	500	300
ПДК/МРС	2,0	32	55,0	0,5	33,0	53	254	4,5	165	600
Населенные пункты при золоторудных месторождениях/Settlements at gold deposits Селитебные почвы/Residential soils (n=31) $Z_c=30,67$ As>Mo>Pb>Cd>Zn>Cu, As>Cu>Mo>Zn										
x	475,0	96,45	172,45	4,90	40,20	10,2	55,7	47,97	735,8	278,9
s	607,2	143,85	269,82	4,75	23,34	6,53	82,8	82,79	368,0	160,1
x/K	95,0	9,65	3,45	9,8	2,0	1,0	18,57	4,8	1,47	0,93
x/ПДК/x/МРС	237,5	3,01	3,14	9,8	1,22	0,2	0,22	10,66	4,46	0,46
I_{geo}	2,41	0,84	0,71	2,44	-0,21	1,44	-1,51	2,86	-0,95	-0,90
Фон/Background (n=6)										
x	59,64	35,8	70,2	0,6	31	2,5	105,5	4,4	948,6	347
s	87,84	26,53	38,58	-	18,13	-	54,1	-	285,27	90,32
Населенные пункты при свинцово-цинковых месторождениях/Settlements at lead-zinc deposits Селитебные почвы/Residential soils (n=42) $Z_c=68,87$ As>Pb>Zn>Cd>Cu>Mo, As>Zn>Pb>Cu										
x	584,6	859,07	930,65	6,00	55,67	9,41	3,04	18,58	578,7	231,6
s	1056,1	2180,7	1920,53	14,36	80,50	19,64	2,85	37,00	201,71	122,73
x/K	116,92	85,9	18,61	12,0	2,78	0,94	1,0	1,86	1,16	0,77
x/ПДК/x/МРС	292,3	26,85	16,92	12,0	1,69	0,18	0,01	4,13	3,51	0,39
I_{geo}	3,36	3,85	2,57	3,60	1,07	0,29	-1,99	2,11	-0,83	-0,63
Фон/Background (n=17)										
x	37,92	39,58	104,60	0,33	17,67	5,13	8,03	2,86	686,76	238,48
s	11,74	25,87	40,08	0,19	13,48	4,19	7,61	1,70	176,41	102,68
Населенные пункты при молибденовых месторождениях/Settlements at molybdenum deposits Селитебные почвы/Residential soils (n=14) $Z_c=32,25$ Mo>As>Pb>Cu>Zn>Cd, As>Cu>Mo>Zn>Sb>Pb										
x	159,92	91,26	123,00	2,25	168,89	6,16	127,88	18,84	637,14	278,50
s	498,66	81,80	110,62	3,69	133,34	1,53	190,88	18,37	149,63	103,21
x/K	31,98	9,03	2,46	4,5	8,44	0,62	42,63	1,88	1,27	0,93
x/ПДК/x/МРС	79,96	2,85	2,24	4,5	5,12	0,12	0,5	4,19	3,86	0,46
I_{geo}	2,43	0,67	0,20	2,32	1,70	0,07	2,21	1,97	-0,60	-0,21
Фон/Background (n=6)										
x	19,8	38,2	71,25	0,3	34,7	3,9	18,45	3,2	643,45	214,65
s	13,86	9,76	1,48	0,21	13,15	2,76	13,65	2,26	165,82	25,39
Населенные пункты при редкометалльных месторождениях/Settlements at rare metal deposits Селитебные почвы/Residential soils (n=6) $Z_c=0,03$ As>Pb>Sb>Zn>Cu, As>Cu>Sb>Mo>Zn>Pb										
x	20,25	34,25	50,50	-	18,60	22,50	95,67	21,67	596,75	235,75
s	13,33	38,56	12,29	-	2,41	3,54	66,93	2,89	48,02	28,39
x/K	4,05	3,43	1,0	-	0,93	2,25	31,89	2,17	1,19	0,79
x/ПДК/x/МРС	10,13	1,07	0,92	-	0,56	0,42	0,38	4,82	3,62	0,39
I_{geo}	0,30	0,81	-0,28	-	-0,76	-	-1,27	-	-0,67	-0,79
Фон/Background (n=1)										
	11	13	41	-	21	-	154	-	634	271
Населенные пункты, не связанные с горнорудной деятельностью/Settlements not related to mining activities Селитебные почвы/Residential soils (n=65) $Z_c=0,32$ As>Mo>Pb>Sn>Zn>Cu, As>Cu>Mo>Zn>Pb										
x	32,01	37,79	63,84	-	21,45	13,33	23,74	10,03	416,98	159,08
s	36,35	33,20	73,45	-	17,19	4,70	43,18	9,74	358,10	176,56
x/K	6,4	3,78	1,28	-	1,07	1,33	7,91	1,0	0,83	0,32
x/ПДК/x/МРС	16,01	1,18	1,16	-	0,65	0,25	0,09	2,23	2,53	0,27
I_{geo}	0,70	0,62	-0,47	-	-0,53	-	-2,86	-0,23	-1,61	-1,70
Фон/Background (n=19)										
x	13,11	16,35	58,78	0,06	20,65	-	114,83	7,85	847,67	344,79
s	11,87	7,86	39,07	0,03	11,37	-	73,94	4,45	281,62	178,59

Примечание: x – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение; Z_c – суммарный показатель загрязнения; As>Pb>Zn>Cd – коэффициенты концентраций элементов (x/K), от большего к меньшему значению; I_{geo} – индекс геоаккумуляции элементов; As>Zn>Pb>Cu – отношение средних значений к ПДК, от большего к меньшему значению; K – среднее содержание элементов в почвах [35], ПДК – предельно допустимые концентрации элементов в почвах [38–40]; «-» – нет данных.

Note: x is the arithmetic mean, s is the standard deviation; Z_c is the total pollution indicator; As>Pb>Zn>Cd is the coefficients of the concentrations of elements (x/K), from a higher to a lower value; I_{geo} is the geoaccumulation indicator of elements; As>Zn>Pb>Cu is the ratio of average values to MPC, from higher to lower values; K is the average content of elements in soils [35], MPC is the maximum permissible concentrations of elements in soils [38–40]. “-” no data available.

Повышенные коэффициенты концентрации ряда элементов в почвах селитебных территорий относительно фоновых содержаний их в почвах связано с процессами миграции элементов из хвостохранилищ в почвы населенных пунктов.

В ряде случаев фоновые концентрации элементов превышают таковые в селитебных почвах. Повышенные концентрации ряда элементов на фоновых участках можно объяснить особенностями геологического строения данных территорий.

В селитебных почвах рудных месторождений в целом выдерживается последовательность коэффициентов концентраций элементов от большего к меньшему значению: $As > Pb > Zn$. Для молибденовых месторождений типична последовательность $Mo > As > Pb$.

Значения индекса геоаккумуляции элементов в селитебных почвах относительно коэффициентов концентрации элементов имеют различия в градации. Для нп., прилегающих к свинцово-цинковым и редкометалльным месторождениям, градация в целом сохраняется. Для нп. в пределах золоторудных месторождений наибольшие значения индекса I_{geo} отмечены для Sb (2,86), Cd (2,44), As (2,41), Sn (1,44), Pb (0,84) и Zn (0,71). В нп. в пределах молибденовых месторождений – As (2,43), Cd (2,32), Mo (2,21), Sb (1,97), Cu (1,7). В нп., не подверженных влиянию горнорудной деятельности градация значений индекса также расходится с градацией коэффициентов концентрации (таблица).

Можно сделать вывод, что наибольший вклад в загрязнение почв, согласно рассчитанным индексам I_{geo} , вносят элементы первого и второго классов опасности. В нп. золоторудных и молибденовых месторождений значения индексов соответствуют по As , Cd , Cu , Sb и Sn уровню загрязненности от умеренно загрязненных до сильно загрязненных (таблица). В нп. свинцово-цинковых месторождений загрязнение почв As , Pb и Cd соответствуют сильно загрязненному уровню, Zn и Sb – средне загрязненному, Cu – умеренно загрязненному. Расчеты с использованием данных таблицы показывают аномально высокие превышения ПДК токсичных элементов в почвах населенных пунктов при ГОК свинцово-цинковых и золоторудных месторождений.

Существенное влияние на степень загрязнения почв горняцких поселков оказывает их расположение относительно гипсометрических отметок отвалов вскрышных горных пород и хвостохранилищ. Среди рассматриваемых нп. наибольшей степенью загрязнения почв характеризуются располагающиеся в зоне влияния свинцово-цинковых и золоторудных месторождений. Высокие значения суммарного показателя загрязнения почв (Z_c) можно объяснить расположением хвостохранилищ ГОК в черте населенного пункта.

Заключение

Впервые для Восточного Забайкалья проведен сравнительный анализ значений суммарного показателя загрязнения селитебных почв (Z_c) населенных пунктов при градообразующих горнодобывающих комбинатах и населенных пунктов, не связанных с горнорудной деятельностью. Установлено, что значения средних суммарных загрязнений почв селитебных горнорудных территорий существенно превышают таковые значения среднего суммарного загрязнения почв населенных пунктов, не связанных с горнорудной деятельностью. Значения Z_c почв населенных пунктов свинцово-цинковых месторождений превышают значения Z_c населенных пунктов, не связанных с горнорудной деятельностью в 215,2 раз, золоторудных месторождений – в 95,8 раз, молибденовых месторождений – в 100,8 раз. Отмечено, что значение Z_c редкометалльных месторождений в 10,7 раз меньше значения Z_c населенных пунктов, не связанных с горнорудной деятельностью.

Анализ эколого-геохимического состояния почв селитебных территорий Восточного Забайкалья выявил следующие закономерности распределения показателей суммарного загрязнения:

1. Среди горнорудных поселков наибольшие значения показателя суммарного загрязнения почв выделены в поселках при ГОК свинцово-цинковых и молибденовых месторождений, где значения индекса соответствуют уровням «чрезвычайно опасный» и «опасный». Горняцкие поселки при ГОК золоторудных месторождений отвечают среднему показателю суммарного загрязнения почв. Населенные пункты, не связанные с горнорудной деятельностью, а также нп. при ГОК редкометалльных месторождений характеризуются низким показателем суммарного загрязнения почв ($Z_c < 16$).
2. Коэффициенты концентраций элементов в почвах горняцких поселков отражают наличие преобладающих рудных элементов в хвостохранилищах. Коэффициенты концентраций элементов от большего к меньшему значению в целом выдерживается последовательность $As > Pb > Zn$. Для молибденовых месторождений типична последовательность $Mo > Pb > Zn$.
3. Значения индекса геоаккумуляции элементов в селитебных почвах относительно коэффициентов концентрации элементов имеют различия в градации. Для нп., прилегающих к свинцово-цинковым и редкометалльным месторождениям, градация в целом сохраняется. Наибольший вклад в загрязнение почв населенных пунктов, согласно рассчитанным индексам, вносят элементы первого и второго классов опасности – мышьяк, свинец, цинк, кадмий, медь, сурьма и

олово. По содержанию свинца и цинка почвы нп. соответствуют уровню загрязненности от умеренно загрязненного до сильно загрязненного.

4. В селитебных почвах горнорудных поселков отмечены следующие превышения ПДК: As – в 292,3, Pb – в 26,9, Zn – в 16,9, Cd – в 12, Cu – в 5, Sb – в 10,7 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сагет, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, Р.С. Смирнова, И.Л. Башаркевич, Т.Л. Онищенко, Л.Н. Павлова, Н.Я. Трефилова, А.И. Ачкасов, С.Ш. Саркисян. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
2. Soil contamination by copper: sources, ecological risks, and mitigation strategies in Brazil / G. Poggere, A. Gasparin, J.Z. Barbosa, G.W. Melo, R.S. Corrêa, A.C.V. Motta // *Journal of Trace Elements and Minerals*. – 2023. – Vol. 4. – 100059. DOI: 10.1016/j.jtemin.2023.100059.
3. Omeka M.E., Igwe O., Unigwe C.O. An integrated approach to the bioavailability, ecological, and health risk assessment of potentially toxic elements in soils within a barite mining area, SE Nigeria // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2022. – Vol. 194. – № 3. – 212. DOI: 10.1007/s10661-022-09856-2
4. Ecological risk assessment and source analysis of heavy metals in the soils of a lead-zinc mining watershed area / Y. Pan, M. Chen, X. Wang, Y. Chen, K. Dong // *Water*. – 2023. – Vol. 15. – № 1. – 113. DOI: 10.3390/w15010113.
5. Applied methodological approach for the assessment of soil contamination by trace elements around abandoned coal mines – a case study of the Jerada Coal Mine, Morocco / A. Khalil, Y. Taha, M. Benzaazoua, R. Hakkou // *Minerals*. – 2023. – Vol. 13. – № 2. – 181. DOI: 10.3390/min13020181.
6. Contamination, source identification, ecological and human health risks assessment of potentially toxic-elements in soils of typical rare-earth mining areas / J. Fan, L. Deng, W. Wang, X. Yi, Z. Yang // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19. – № 22. – 15105. DOI: 10.3390/ijerph192215105
7. Environmental and health risk assessment of soil adjacent to a self-burning waste pile from an abandoned coal mine in Northern Portugal / P. Santos, J. Ribeiro, J. Espinha Marques, D. Flores // *Environments*. – 2023. – Vol. 10 – № 3. – 53. DOI: 10.3390/environments10030053.
8. Geochemical baseline and pre-mining environmental assessment of heavy metals at iron exploration area, Northeastern Aswan, Egypt / M.T. Mostafa, H.E. Nady, R.M. Gomaa, F.H. Abdelgawad, H.I. Farhat, I.H. Khalifa, S.A. Salman // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2023. – Vol. 234. – № 7. – 456. DOI:10.1007/s11270-023-06466-7.
9. Hara J., Kawabe Y. Geochemical characteristics and risk assessment of minor elements in subsurface soils of abandoned mine-rich Shikoku region, Japan // *Journal of Soils and Sediments*. – 2023. – Vol. 23. – P. 718–730. DOI: 10.1007/s11368-022-03369-8.
10. Heavy metal contamination and ecological risk assessment in soils of the pawara gold mining area, Eastern Cameroon / Y. Fodoué, A. Ismaila, M. Yannah, M.J. Wirmvem, C.B. Mana // *Earth*. – 2022. – Vol. 3. – № 3. – P. 907–924. DOI: 10.3390/earth3030053.
11. Omeka M.E., Igwe O. Heavy metals concentration in soils and crop plants within the vicinity of abandoned mine sites in Nigeria: an integrated indexical and chemometric approach // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. – 2021. – P. 4111–4129. DOI: 10.1080/03067319.2021.1922683.
12. Spatial distribution, migration, and ecological risk of Cd in sediments and soils surrounding sulfide mines – a case study of the Dabaoshan Mine of Guangdong, China / W. Sheng, Q. Hou, Z. Yang, T. Yu // *Water*. – 2023. – Vol. 15. – № 12. – 2223. DOI: 10.3390/w15122223.
13. Trace element geochemical imprints and multi-path health risk assessment of potentially toxic elements in soils from the polymetallic area of Tashan-Jatau, Northwestern Nigeria / O.B. Omang, H. Effiom, M.E. Omeka, P. Oko, A.E. Asinya, T.L. Ojikutu, T.G. Kave // *Global Journal of Geological Sciences*. – 2023. – Vol. 21. – № 1. – P. 91–115. DOI: 10.4314/qjgs.v21i1.7.
14. Estimation of potentially toxic elements contamination in anthropogenic soils on a brown coal mining dumpsite by reflectance spectroscopy: a case study / A. Gholizadeh, L. Boruvka, R. Vašát, M. Saberioon, A. Klement, J. Kratina, V. Tejnecký, O. Drábek // *PLoS ONE*. – 2015. – Vol. 10. – № 2. – e0117457. DOI: 10.1371/journal.pone.0117457.
15. Jacka J.K. The anthropology of mining: the social and environmental impacts of resource extraction in the mineral age // *Annual Review of Anthropology*. – 2018. – Vol. 47. – P. 61–77. DOI: 10.1146/annurev-anthro-102317-050156.
16. Onsachi J.M., Yakubu H.M., Shaibu M.M. Evaluation of Potentially Toxic Elements (PTE) from mine effluence discharge (case study of National Iron Ore Mining Company (NIOMCO), Itakpe, Kogi State – North Central, Nigeria // *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. – 2018. – Vol. 7. – № 9. – III. – P. 47–54. DOI: 10.9790/1813-0709034754.
17. Human health risk exposure and ecological risk assessment of potentially toxic element pollution in agricultural soils in the district of Frydek Mistek, Czech Republic: a sample location approach / P.C. Agyeman, K. John, N.M. Kebonye, L. Boruvka, R. Vašát, O. Drabek, K. Nemecek // *Environmental Sciences Europe*. – 2021. – Vol. 33. – № 1. – 137. DOI: 10.1186/s12302-021-00577-w.
18. Study of spatial distribution of potentially toxic elements in a nature reserve in Langata Ecosystem / S.B. Otieno, E. Ngumbi, C. Odhiambo-Nyan'gaya, J. Gakunju // *Journal of Health and Environmental Research*. – 2020. – Vol. 6. – № 4. – P. 114–118. DOI: 10.11648/j.jher.20200604.12.
19. Source patterns of potentially toxic elements (PTEs) and mining activity contamination level in soils of Taltal city (Northern Chile) / A. Reyes, M. Thiombane, A. Panico, L. Daniele, A. Lima, M. Di Bonito, B. De Vivo // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2020. – Vol. 42. – № 8. – P. 2573–2594. DOI: 10.1007/s10653-019-00404-5.
20. Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины, макро- и микроэлементы. – М.: ГЭОТАР Медиа, 2008. – 960 с.
21. Юргенсон Г.А., Филенко Р.А. Об унаследованности геохимической специализации отходов горного производства от рудноформационной принадлежности рудных месторождений на примере Забайкалья // *Геосферные исследования*. – 2018. – № 4. – С. 21–31. DOI: 10.17223/25421379/9/3.

22. Тихонова Е.В., Бишарова Г.И. Причины формирования трансформации щитовидной железы у детей дошкольного возраста г. Бaley // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской Академии медицинских наук. – 2005. – № 4 (42). – С. 137–138.
23. Оценка потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений Восточного Забайкалья / Б.Н. Абрамов, О.В. Еремин, Р.А. Филенко, Т.Г. Цыренов // Геосферные исследования. – 2020. – № 2. – С. 64–75. DOI: 10.17223/25421379/15/5.
24. Абрамов Б.Н. Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Забайкальского края // Горно-информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 11. – С. 136–145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_136.
25. Абрамов Б.Н. Геоэкологическая характеристика природно-техногенных комплексов свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // Вестник Воронежского университета. Серия: Геология. – 2022. – № 1. – С. 67–76. DOI: 10.17308/geology.2022.1/9101.
26. Абрамов Б.Н., Цыренов Т.Г. Закономерности распределения токсичных элементов в почвах населенных пунктов горнорудных территорий Восточного Забайкалья // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2022. – № 5. – С. 1–10. DOI: 10.31857/S0869780922050022.
27. Состояние почвенного покрова в районах техногенных биогеохимических аномалий Забайкалья / Е.А. Бондаревич, Н.Н. Коцюржинская, А.А. Войченко, Т.Ю. Войченко, О.А. Лескова, А.П. Лесков // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 3. – С. 57–64. DOI: 10.17513/use.37346.
28. Эколого-геохимическая оценка распределения токсичных элементов в почвенном покрове в зоне воздействия горно-обогатительного комбината (на примере Хапчерангинского горно-обогатительного комбината, (Забайкальский край) / М.А. Солодухина, Е.А. Бондаревич, Л.А. Михайлова, Ю.А. Витковский, Р.А. Филенко // Геосферные исследования. – 2021. – № 1. – С. 87–93. DOI: 10.17223/25421379/18/7.
29. Мязин В.П., Михайлютина С.И. Комплексная оценка техногенного загрязнения почв и продуктов питания тяжелыми металлами при размещении хвостохранилищ в Восточном Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 9. – С. 164–170.
30. Михайленко В.Н. Проблема техногенных отходов горного производства в России // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 2. – С. 121–123.
31. Михайлютина С.И. Комплексная эколого-геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды горнорудных поселений Восточного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2007. – 21 с.
32. Птицын А.Б. Проблемы освоения техногенных месторождений Забайкалья // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № S3-2. – С. 128–130.
33. ГОСТ Р 70281-2022 Охрана окружающей среды. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Официальное издание. – М.: РСТ, 2022 – 8 с.
34. МУ 2.1.7.730099 Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 20 с.
35. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1957. – 238 с.
36. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных территорий. – Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2013. – 380 с.
37. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // GeoJournal. – 1969. – Vol. 2. – № 3. – P. 108–118.
38. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М.: Роспотребнадзор, 2021. – 469 с.
39. Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in The Netherlands, taking into account background concentrations / T. Crommentuijn, D. Sijm, J.D. Bruijn, M.V.D. Hoop, K.V. Leeuwen, E.V.D. Plassche // Journal of Environmental Management. – 2000. – Vol. 60. – № 2 – P. 121–143. DOI: 10.1006/jema.2000.0354.
40. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М.: Изд-во «Недра», 1974. – 303 с.

Информация об авторах

Баир Намжилович Абрамов, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а; b_abramov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8905-1677>

Тимур Гармажапович Цыренов, младший научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а; master.of.pistols@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6058-164X>

Наталья Юрьевна Михеева, младший научный сотрудник лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а; nataster6565@mail.ru

Роман Андреевич Филенко, научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а; filrom@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6736-9556>

Марат Тимурович Усманов, научный сотрудник лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а; usgi@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4676-6741>

Поступила в редакцию: 12.09.2023

Поступила после рецензирования: 15.07.2024

Принята к публикации: 09.09.2024

REFERENCES

1. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., Smirnova R.S., Basharkevich I.L., Onishchenko T.L., Pavlova L.N., Trefilova N.Ya., Achkasov A.I., Sarkisyan S.Sh. *Geochemistry of the environment*. Moscow, Nedra Publ., 1990. 335 p. (In Russ.)
2. Poggere G., Gasparin A., Barbosa J.Z., Melo G.W., Corrêa R.S., Motta A.C.V. Soil contamination by copper: Sources, ecological risks, and mitigation strategies in Brazil. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 2023, vol. 4, 100059. DOI: 10.1016/j.jtemin.2023.100059.
3. Omeke M.E., Igwe O., Unigwe C.O. An integrated approach to the bioavailability, ecological, and health risk assessment of potentially toxic elements in soils within a barite mining area, SE Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2022, vol. 194, no. 3, 212. DOI: 10.1007/s10661-022-09856-2.
4. Pan Y., Chen M., Wang X., Chen Y., Dong K. Ecological risk assessment and source analysis of heavy metals in the soils of a lead-zinc mining watershed area. *Water*, 2023, vol. 15, no. 1, 113. DOI: 10.3390/w15010113.
5. Khalil A., Taha Y., Benzaazoua M., Hakkou R. Applied methodological approach for the assessment of soil contamination by trace elements around abandoned coal mines – a case study of the Jerada Coal Mine, Morocco. *Minerals*, 2023, vol. 13, no. 2, 181. DOI: 10.3390/min13020181.
6. Fan J., Deng L., Wang W., Yi X., Yang Z. Contamination, source identification, ecological and human health risks assessment of potentially toxic-elements in soils of typical rare-earth mining areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19, no. 22, 15105. DOI: 10.3390/ijerph192215105.
7. Santos P., Ribeiro J., Espinha Marques J., Flores D. Environmental and health risk assessment of soil adjacent to a self-burning waste pile from an abandoned coal mine in Northern Portugal. *Environments*, 2023, vol. 10, no. 3, 53. DOI: 10.3390/environments10030053.
8. Mostafa M.T., Nady H.E., Gomaa R.M., Abdelgawad F.H., Farhat H.I., Khalifa I.H., Salman S.A. Geochemical baseline and pre-mining environmental assessment of heavy metals at iron exploration area, Northeastern Aswan, Egypt. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2023, vol. 234, no. 7, 456. DOI: 10.1007/s11270-023-06466-7.
9. Hara J., Kawabe Y. Geochemical characteristics and risk assessment of minor elements in subsurface soils of abandoned mine-rich Shikoku region, Japan. *Journal of Soils and Sediments*, 2023, vol. 23, pp. 718–730. DOI: 10.1007/s11368-022-03369-8.
10. Fodoué Y., Ismaila A., Yannah M., Wirmvem M.J., Mana C.B. Heavy Metal Contamination and Ecological Risk Assessment in Soils of the Pawara Gold Mining Area, Eastern Cameroon. *Earth*, 2022, vol. 3, no. 3, pp. 907–924. DOI: 10.3390/earth3030053.
11. Omeke M.E., Igwe O. Heavy metals concentration in soils and crop plants within the vicinity of abandoned mine sites in Nigeria: an integrated indexical and chemometric approach. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2021, pp. 4111–4129. DOI: 10.1080/03067319.2021.1922683.
12. Sheng W., Hou Q., Yang Z., Yu T. Spatial distribution, migration, and ecological risk of cd in sediments and soils surrounding sulfide mines – a case study of the Dabaoshan Mine of Guangdong, China. *Water*, 2023, vol. 15, no. 12, 2223. DOI: 10.3390/w15122223.
13. Omang O.B., Effiom H., Omeke M.E., Oko P., Asinya A.E., Ojikutu T.L., Kave T.G. Trace element geochemical imprints and multi-path health risk assessment of potentially toxic elements in soils from the polymetallic area of Tashan-Jatau, Northwestern Nigeria. *Global Journal of Geological Sciences*, 2023, vol. 21, no. 1, pp. 91–115. DOI: 10.4314/qjgs.v21i1.7.
14. Gholizadeh A., Boruvka L., Vašát R., Saberioon M., Klement A., Kratina J., Tejnecký V., Drábek O. Estimation of potentially toxic elements contamination in anthropogenic soils on a brown coal mining dumpsite by reflectance spectroscopy: a case study. *PLoS ONE*, 2015, vol. 10, no. 2, e0117457. DOI: 10.1371/journal.pone.0117457.
15. Jacka J.K. The anthropology of mining: the social and environmental impacts of resource extraction in the mineral age. *Annual Review of Anthropology*, 2018, vol. 47, pp. 61–77. DOI: 10.1146/annurev-anthro-102317-050156.
16. Onsachi J.M., Yakubu H.M., Shaibu M.M. Evaluation of Potentially Toxic Elements (PTE) from mine effluence discharge (case study of National Iron Ore Mining Company (NIOMCO), Itakpe, Kogi State – North Central, Nigeria). *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 2018, vol. 7, no. 9, III, pp. 47–54. DOI: 10.9790/1813-0709034754.
17. Agyeman P.C., John K., Kebonye N.M., Boruvka L., Vašát R., Drábek O., Nemecek K. Human health risk exposure and ecological risk assessment of potentially toxic element pollution in agricultural soils in the district of Frydek Místek, Czech Republic: a sample location approach. *Environmental Sciences Europe*, 2021, vol. 33, no. 1, 137. DOI: 10.1186/s12302-021-00577-w.
18. Otieno S.B., Ngumbi E., Odhiambo-Nyan'gaya C., Gakunju J. Study of spatial distribution of potentially toxic elements in a nature reserve in Langata Ecosystem. *Journal of Health and Environmental Research*, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 114–118. DOI: 10.11648/j.jher.20200604.12.
19. Reyes A., Thiombane M., Panico A., Daniele L., Lima A., Di Bonito M., De Vivo B. Source patterns of potentially toxic elements (PTEs) and mining activity contamination level in soils of Taltal city (Northern Chile). *Environmental Geochemistry and Health*, 2020, vol. 42, no. 8, pp. 2573–2594. DOI: 10.1007/s10653-019-00404-5.
20. Rebrov V.G., Gromova O.A. *Vitamins, macro- and micronutrients*. Moscow, GEOTAR Media Publ., 2008. 960 p.
21. Yurgenson G.A., Filenko R.A. About genetic connection of geochemical specialization of wastes of mining production with ore-formation accessories of ore deposits on the example of Transbaikalia. *Geosphere Research*, 2018, no. 4, pp. 21–31. (In Russ.) DOI: 10.17223/25421379/9/3.
22. Tikhonova E.V., Bisharova G.I. Causes of goitre transformation of thyroid gland in preschool children of Baley city. *Byulleten' vostochno-sibirskogo nauchnogo tsentra sibirskogo otdeleniya rossyskoy akademii meditsinskikh nauk*, 2005, no. 4 (42), pp. 137–138. (In Russ.)

23. Abramov B.N., Eremin O.V., Filenko R.A., Tsyrenov T.G. Assessment of potential environmental hazards of natural and man-made complexes of ore deposits (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geosphere Research*, 2020, no. 2, pp. 64–75. (In Russ.) DOI: 10.17223/25421379/15/5.
24. Abramov B.N. Toxicity assessment of mine tailings ponds in Transbaikalia. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2021, no. 11, pp. 136–145. (In Russ.) DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_136.
25. Abramov B.N. Geocological characteristics of natural-technogenic complexes of lead-zinc deposits in the Eastern Transbaikalia. *Proceedings of Voronezh state university. Series: geology*, 2022, no. 1, pp. 67–76. (In Russ.) DOI: 10.17308/geology.2022.1/9101.
26. Abramov B.N., Tsyrenov T.G. Patterns of toxic element distribution in soils of settlements in the Eastern Transbaikalia mining areas. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2022, no. 5, pp. 1–10. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869780922050022.
27. Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Voychenko A.A., Voychenko T.Yu., Leskova O.A., Leskov A.P. The state of the soil cover in the areas of technogenic biogeochemical anomalies in Transbaikalia region. *Advances in current natural sciences*, 2020, no. 3, pp. 57–64. (In Russ.) DOI: 10.17513/use.37346.
28. Solodukhina M.A., Bondarevich E.A., Mikhailova L.A., Vitkovsky Yu.A., Filenko R.A. Ecological and geochemical assessment of the distribution of toxic elements in the soil cover in the impact zone of a mining and processing plant (using the example of the Khapcheranginsky mining and processing plant (Transbaikalia Territory)). *Geosphere Research*, 2021, no. 1, pp. 87–93. (In Russ.) DOI: 10.17223/25421379/18/7.
29. Myazin V.P., Mikhailutina S.I. Integrated assessment of anthropogenic contamination of soil and foodstuffs with heavy metals at the disposal of tailing dumps in Eastern Transbaikalia. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2006, no. 9, pp. 164–170. (In Russ.)
30. Mikhailenko V.N. Problem of technogenic mining waste in Transbaikalia. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2006, no. 2, pp. 121–123. (In Russ.)
31. Mikhailutina S.I. *Complex ecological and geochemical assessment of heavy metal pollution of natural environment components of mining settlements in Eastern Transbaikalia*. Cand. Dis. Abstract. Irkutsk, 2007. 21 p.
32. Pitsyn A.B. Problems of technogenic deposits development in Transbaikalia. *Geology and mineral resources of Siberia*, 2014, no. S3-2, pp. 128–130. (In Russ.)
33. *State Standard 70281-2022 Environmental protection. Soils. Classification of chemical substances for pollution control*. Moscow, Russian Standards Publ., 2022. 8 p. (In Russ.)
34. *Methodological guidelines 2.1.7.730-99 Soil, cleaning of settlements, domestic and industrial waste, sanitary protection of soil. Hygienic assessment of the quality of soil in populated areas*. Moscow, Federal Centre of Gosanepidnadzor of the Ministry of Health of Russia Publ., 1999. 20 p. (In Russ.)
35. Vinogradov A.P. *Geochemistry of rare and diffuse chemical elements in soils*. Moscow, Akad. of Sciences of the USSR Publ., 1957. 238 p. (In Russ.)
36. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. *Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils of residential areas*. Rostov n/D, Southern Federal University Publ., 2013. 380 p. (In Russ.)
37. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 1969, vol. 2, no. 3, pp. 108–118.
38. *SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic norms and requirements to ensure the safety and (or) harmlessness to humans of environmental factors*. Moscow, Rospotrebnadzor Publ., 2021. 469 p. (In Russ.)
39. Crommentuijn T., Sijm D., Bruijn J.D., Hoop M.V.D., Leeuwen K.V., Plassche E.V.D. Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in The Netherlands, taking into account background concentrations. *Journal of Environmental Management*, 2000, vol. 60, no. 2, pp. 121–143. DOI: 10.1006/jema.2000.0354.
40. Kovalsky V.V. *Geochemical ecology*. Moscow, Nedra Publ., 1974. 303 p. (In Russ.)

Information about the authors

Bair N. Abramov, Dr. Sc., Leading Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 16a, Nedorezov street, Chita, 672014, Russian Federation; b_abramov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8905-1677>

Timur G. Tsyrenov, Junior Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 16a, Nedorezov street, Chita, 672014, Russian Federation; master.of.pistols@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6058-164X>

Natalia Yu. Mikheeva, Junior Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 16a, Nedorezov street, Chita, 672014, Russian Federation; natstep6565@mail.ru

Roman A. Filenko, Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 16a, Nedorezov street, Chita, 672014, Russian Federation; filrom@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6736-9556>

Marat T. Usmanov, Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 16a, Nedorezov street, Chita, 672014, Russian Federation; usgi@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4676-6741>

Received: 12.09.2023

Revised: 15.07.2024

Accepted: 09.09.2024