



УДК 631.42+631.45

DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-3-453-465

## Пространственное распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах вблизи горнопромышленных предприятий

Полетаев А.О., Севрюков И.С.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: poletaev@bsu.edu.ru, 1668537@bsu.edu.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты мониторинга содержания в почве тяжелых металлов и мышьяка для железорудного района КМА и особенности загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком поверхностного слоя почв агроландшафтов, расположенных вблизи промышленных зон Лебединского и Стойленского ГОКов. Путем анализа растров интерполированных значений загрязнителей выявлено уменьшение содержания в поверхностном слое почвы Mn, Fe, Ni, Zn, Ba и увеличение содержания Cu и Pb по мере удаления от отвала окисленных кварцитов ЛГОКа. При удалении от отвала мело-мергельных пород СГОКа уменьшается в поверхностном слое почвы содержание Fe, Ni, As и возрастает содержание Zn и Ba. Выявлено, что согласно уточненному суммарному показателю концентрации (Zy), уровень загрязнения вблизи отвала окисленных кварцитов ЛГОКа и отвала мело-мергельных пород СГОКа является слабым или отсутствует. Проведен попарный корреляционный анализ и выявлены ассоциации тяжелых металлов: Ni и Cr, Ba и Mn, Ba и Zn, Ni и Mn, Zn и Cr, Zn и Mn, Zn и Ni, Ba и Ni, Ba и Sr около отвала окисленных кварцитов ЛГОКа, и ассоциация Pb и Cu вблизи отвала мело-мергельных пород СГОКа.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы и металлоиды (ТММ), загрязнение почв, Курская магнитная аномалия, горнопромышленный комплекс, уточненный суммарный показатель концентрации (Zy)

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

**Для цитирования:** Полетаев А.О., Севрюков И.С. 2024. Пространственное распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах вблизи горнопромышленных предприятий. Региональные геосистемы, 48(3): 453–465. DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-3-453-465

---

## Spatial Distribution of Heavy Metals and Arsenic in Soils Near Mining Enterprises

Arseniy O. Poletaev, Ilya S. Sevryukov

Belgorod State National Research University,  
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia

E-mail: poletaev@bsu.edu.ru, 1668537@bsu.edu.ru

**Abstract.** The article considers the results of monitoring heavy metal and arsenic content in the soil of the iron ore region of the KMA and the features of pollution with heavy metals and arsenic of the surface soil layer of agricultural landscapes located near the industrial zones of Lebedinsky and Stoilensky mining and processing plants. By analyzing the rasters of interpolated values of pollutants, we revealed a decrease in the content of Mn, Fe, Ni, Zn, Ba in the surface soil layer and an increase in the content of Cu and Pb with increasing distance from the dump of oxidized quartzites of LGOK. As the distance from the dump of SGOK chalk-marl rocks increases, the content of Fe, Ni, As in the surface soil layer decreases, and the content of Zn and Ba rises. It was revealed that according to the refined total concentration indicator (Zy), the level of pollution near LGOK oxidized quartzites dump and SGOK chalk-marl rocks dump is weak or absent. A pairwise correlation analysis was carried out and the associations of heavy metals were identified: Ni and Cr, Ba and Mn, Ba and



Zn, Ni and Mn, Zn and Cr, Zn and Mn, Zn and Ni, Ba and Ni, Ba and Sr near LGOK oxidized quartzites dump, and the association of Pb and Cu near SGOK chalk-marl rocks dump.

**Keywords:** heavy metals and metalloids (HMMs), soil pollution, Kursk magnetic anomaly, mining complex, refined total concentration index (Zy)

**Acknowledgements:** This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2023-0011.

**For citation:** Poletaev A.O., Sevryukov I.S. 2024. Spatial Distribution of Heavy Metals and Arsenic in Soils Near Mining Enterprises. *Regional Geosystems*, 48(3): 453–465 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-3-453-465

## Введение

Активное загрязнение окружающей среды, в частности почвенного покрова, тяжелыми металлами при нарастающей техногенной нагрузке в горнодобывающих районах сопровождается увеличением рисков для здоровья человека [Yang et al., 2023], ввиду этого является актуальным совместное изучение рисков, учитывающих как загрязнение окружающей среды, так и воздействие на здоровье человека [Ahmad et al., 2021; Zhou et al., 2024]. При оценке рисков деградации почв вследствие поступления в них тяжелых металлов важно осуществлять мониторинг качества почв. Он реализуется при использовании различных систем оценки качества почв, которые учитывают содержание тяжелых металлов в почве. В настоящее время такие системы оценки качества почв используются в России, Германии, Нидерландах, США, Канаде [Semenkov, Koroleva, 2020]. В России в настоящее время отсутствие гигиенических нормативов допустимого уровня содержания тяжелых металлов в почве по всем показателям вредности является препятствием для проведения полной оценки качества почвы [Волошенко и др., 2022].

Мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами в Старооскольско-Губкинском горнопромышленном районе, для которого отмечается средняя напряженность эколого-хозяйственного состояния [Некрич, 2007], проводился многократно в ходе научных исследований [Котенко и др., 2003; Лисецкий и др., 2004; 2011; Гонеев и др., 2011; Замотаев и др., 2017]. В состав Старооскольско-Губкинского горнопромышленного района входят техногенные ландшафты, образованные в ходе освоения месторождений железных руд [Петин, Игнатенко, 2016], от которых на прилегающие территории (где широко представлены агроландшафты интенсивного использования) поступают тяжелые металлы.

Загрязнение почвы происходит в результате осаждения на ее поверхности пыли, которая переносится воздушными потоками преимущественно на юго-восток, северо-запад и запад от предприятий горнопромышленного комплекса, являющихся площадными источниками загрязнения [Бударина и др., 2023], при этом наиболее интенсивное загрязнение проявляется в радиусе 5 км от рудников и отвалов [Лисецкий и др., 2004].

В результате этого агроландшафты, находящиеся вблизи предприятий горнопромышленного комплекса, подвергаются активному техногенному воздействию, при этом в поверхностном слое почвы накапливаются токсичные элементы (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb и As) [Корнилов и др., 2023; Полетаев, Лисецкий, 2023], которые являются спутниками железных руд [Замотаев и др., 2017]. Загрязнение почв пылевыми выбросами способствует снижению продуктивности и качества продукции агроценозов [Стифеев и др., 2021], наряду с этим происходит аккумуляция тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах [Лисецкий и др., 2008]. Это является негативным процессом, однако проведение фиторемедиации с помощью специально подобранных сельскохозяйственных культур может снизить уровень загрязнения почв тяжелыми металлами [Андреева и др., 2009; Deng et al., 2024], так как тяжелые металлы преимущественно концентрируются в верхнем

слое почвенного профиля и не распространяются вглубь почвы, особенно при щелочной реакции почвенного раствора [Бауэр и др., 2023].

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования выбраны почвы агроландшафтов, расположенные вблизи промышленных зон Лебединского и Стойленского ГОКов, и подверженные длительному аэротехногенному загрязнению с отвала окисленных кварцитов ЛГОКа и отвала меломергельных пород СГОКа. Предмет исследования – результаты загрязнения почв тяжелыми металлами и мышьяком (As). Выбор объектов исследования обусловлен тем, что ранее были выявлены наибольшие концентрации Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb и As на пахотных землях, расположенных к северо-западу и юго-западу от отвала окисленных кварцитов ЛГОКа (ключевой участок № 1), а также к югу от с. Котеневка, с. Верхнечуфичево, северная граница которых примыкает к границе промышленной зоны, вблизи которой расположен отвал меломергельных пород СГОКа (ключевой участок № 2) [Полетаев, Лисецкий, 2023]. Эта особенность распределения ТММ в поверхностном слое почвы была выявлена по результатам анализа почвенных образцов, отобранных в апреле 2021 года. Для обнаружения дополнительных и более детальных особенностей распределения загрязнителей в апреле 2024 года был проведен отбор почвенных образцов на ключевых участках № 1 и № 2 на пахотных землях, а также в лесных массивах и на залежных землях в почвенном слое 0–20 (30) см. Пробоотбор почвенных образцов в лесных массивах и на залежных землях был сделан для сравнения содержания токсичных элементов в верхнем слое почвы данных экосистем с их содержанием в верхнем слое пахотных земель. Пробоотбор почвенных образцов проводился по методу «конверта» на водоразделах и приводораздельных поверхностях, чем и обусловлено неравномерное пространственное распределение точек пробоотбора и наличие на ключевых участках областей с низкой плотностью точек пробоотбора. С помощью точек пробоотбора 2024 года частично была увеличена плотность обеспечения данными в определенных частях ключевых участков, при этом в областях, менее обеспеченных данными, снижена точность интерполированных данных о содержании в поверхностном слое почвы токсичных элементов.

В качестве фоновых значений были приняты данные о содержании токсичных элементов в поверхностном слое почвы (0–20 см), полученные в 2006 году [Лисецкий, Голеусов, 2006]. Конечно, почвы Ямской степи уже на 2006 год являлись условно фоновыми из-за возросшей техногенной нагрузки, однако, ввиду отсутствия более современных данных о фоновых значениях содержания токсичных элементов, наиболее подходящих для оценки загрязнения почв вблизи Лебединского и Стойленского ГОКов, эти данные являются наиболее пригодными для использования. Современное состояние почв Ямской степи уже не может быть рассмотрено в качестве эталона почвенно-экологического мониторинга.

Содержание в почвенных образцах ТММ определяли с помощью рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», моделирование пространственного распределения загрязнителей осуществлялось с помощью ПО *ArcGIS 10.5*.

### Результаты и их обсуждение

Значения содержания в почвенных образцах ТММ представлены в таблице.

Для выявления особенностей пространственного распределения содержания ТММ в поверхностном слое почвы была проведена с помощью ПО *ArcGIS 10.5* (модуль «*Geostatistical Analyst*») интерполяция значений методом ОВР (обратно взвешенных расстояний). Карты-схемы интерполяции значений содержания ТММ в почвенном слое 0–20 (30) см показаны на рис. 1, 2.



Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почвенных образцах,  
отобранных на ключевых участках № 1, № 2  
Content of heavy metals and arsenic in soil samples selected in key areas No. 1, No. 2

№ точки	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Ba	Pb
	мг/кг		%	мг/кг						
Ключевой участок № 1										
21–1	94,80	633,40	3,08	42,40	20,80	68,53	8,94	113,46	470,91	18,51
21–2	96,46	627,19	3,11	42,52	21,93	65,02	10,67	115,03	473,29	15,94
21–3	87,19	625,64	3,14	43,51	18,80	64,87	7,82	114,78	482,32	21,21
21–4	84,73	632,40	3,04	40,45	17,22	63,69	9,63	115,05	477,29	14,22
21–5	80,54	628,58	3,10	41,05	23,87	66,28	10,37	118,76	477,97	16,25
21–6	80,46	670,23	3,11	40,39	23,37	67,02	11,60	110,59	489,79	14,94
21–7	78,28	659,79	н/д	41,34	22,98	66,96	7,11	113,83	476,46	19,51
21–8	86,72	653,38	3,07	41,23	19,41	65,94	9,07	109,64	473,08	22,01
21–9	83,09	604,27	2,93	38,65	23,32	61,30	7,40	112,71	480,44	23,74
21–10	86,20	624,20	3,06	40,55	6,82	65,34	9,40	135,66	476,59	20,91
21–11	79,28	687,95	3,02	40,46	23,01	63,41	4,72	111,42	483,92	28,13
21–12	86,85	606,11	3,01	40,72	21,09	61,68	4,82	113,92	462,69	29,01
24–8	81,58	610,43	2,97	41,41	32,52	59,01	7,30	109,45	476,49	25,58
24–9	73,39	493,90	2,81	37,68	31,20	60,43	8,17	101,23	461,49	20,02
24–10	69,74	470,80	2,77	36,68	29,16	45,53	8,71	90,91	408,42	17,43
24–11	75,41	541,93	2,70	38,38	31,03	32,15	7,78	118,84	447,29	29,28
24–13	72,85	627,89	3,02	38,11	32,04	57,16	8,33	106,98	472,24	19,90
24–14	75,98	615,40	2,94	39,38	32,73	62,74	5,13	112,02	494,31	26,87
Ключевой участок № 2										
21–13	82,31	590,14	3,15	41,93	24,22	65,24	11,58	120,52	464,46	16,16
21–14	83,64	913,54	3,06	42,11	22,80	70,02	10,86	111,80	512,43	17,00
21–15	89,76	860,08	3,12	42,58	37,57	73,47	10,46	109,42	514,17	21,84
21–16	87,09	760,87	3,24	43,61	24,06	72,88	9,48	101,54	495,86	20,99
21–17	84,96	835,38	2,89	40,08	34,47	66,29	11,47	100,74	504,85	18,07
21–18	83,61	742,39	3,05	41,50	23,16	74,65	10,96	108,14	488,00	17,41
21–19	85,32	836,18	3,00	42,17	21,10	69,75	9,29	112,88	504,89	16,88
21–20	114,55	819,16	2,99	39,96	30,58	66,49	7,71	101,63	483,85	20,98
21–21	84,64	804,81	3,21	43,39	22,13	71,14	8,62	98,38	476,99	23,83
21–22	88,34	659,82	3,27	44,82	18,13	68,45	8,61	105,52	486,92	23,34
21–23	98,24	730,94	3,12	42,44	21,63	67,11	9,81	98,98	505,68	20,91
21–24	91,02	642,10	3,25	45,65	25,75	69,24	11,63	108,33	494,30	18,10
24–1	83,75	346,55	3,06	41,41	35,98	66,12	7,93	137,45	471,30	28,89
24–2	84,72	666,56	3,16	44,36	36,04	65,72	8,31	115,66	474,63	25,32
24–3	84,54	537,55	3,17	43,03	36,60	70,57	4,62	116,95	516,62	28,11
24–4	64,11	1261,83	2,44	37,32	30,22	62,92	7,61	110,51	479,68	24,92
24–5	88,65	843,99	3,00	39,22	33,67	65,70	3,67	114,78	492,71	29,00
24–6	83,04	837,34	2,77	40,19	33,79	68,05	5,82	129,80	498,58	26,63
24–7	91,68	906,87	2,89	40,30	33,82	65,26	4,49	115,86	508,97	31,93

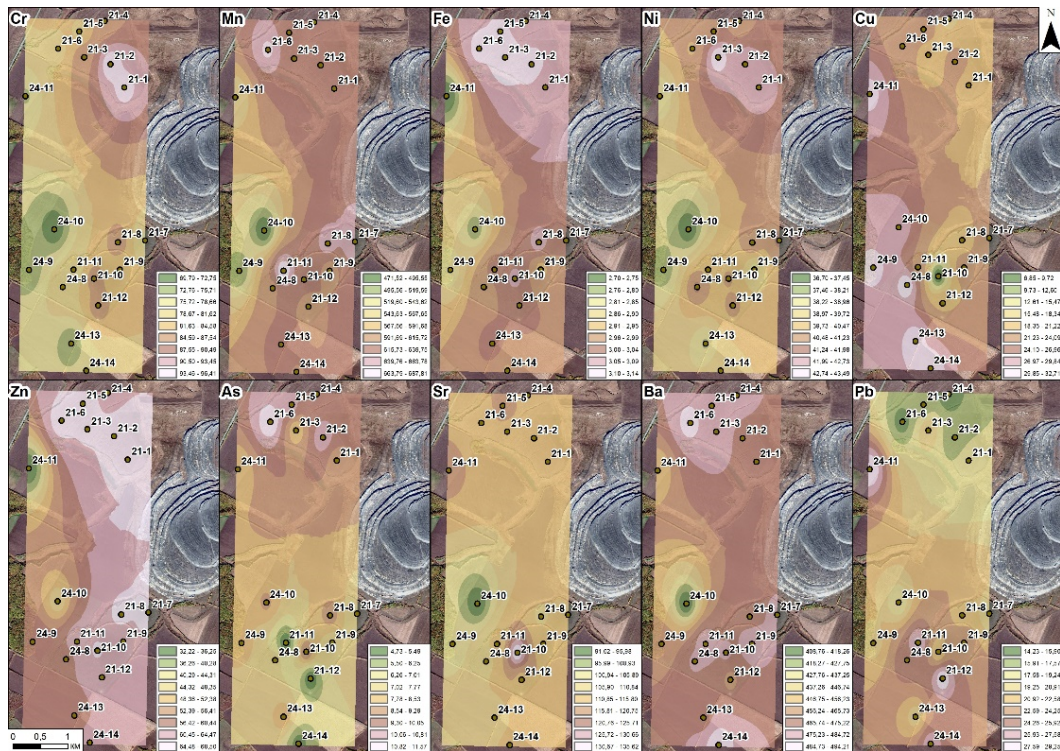


Рис. 1. Карты-схемы интерполяции значений содержания тяжелых металлов и мышьяка в слое почвы 0–20 (30) см (ключевой участок № 1)

Fig. 1. Scheme maps of interpolation of values of heavy metals and arsenic content in the soil layer 0–20 (30) cm (key area No. 1)

По результатам геохимического обследования 2021 и 2024 гг. почв ключевого участка № 1 (пахотные земли, расположенные к северо-западу и юго-западу от отвала окисленных кварцитов ЛГОКа) были построены карты-схемы интерполяции значений содержания ТММ. Интерполяция проведена методом обратно взвешенных расстояний (ОВР). При отображении интерполированных растров было по умолчанию оставлено количество классов (9) и метод классификации – равный интервал. Точка 24–9 расположена внутри лесного массива. Наименьшие значения содержания выделяются темно-зеленым цветом, наибольшие – светло-розовым (см. рис. 1).

Выявлены следующие основные закономерности:

1. Содержание Cr и Ni имеет сходное распределение – к северо-западу от отвала наблюдаются наибольшие значения содержания, к юго-западу интенсивность загрязнения данными металлами спадает, к западу – минимальное содержание.

2. Содержание Mn, Fe и Ba увеличивается к северо-западу от отвала, но, в отличие от Cr и Ni, также активно загрязняют почву к юго-западу, к западу – минимальное содержание.

3. Значительно различается пространственное распределение Cu и Zn – если содержание Cu увеличивается при отдалении от отвала, то содержание Zn напротив уменьшается при отдалении от отвала. При этом не выделяются отдельно северо-западная и юго-западная части ключевого участка по интенсивности загрязнения, оно нарастает/уменьшается «единым фронтом».

4. Схожий контраст выделяется у As и Pb, в отличие от Cu и Zn он выделяется не с северо-востока на юго-запад, а с севера на юг. Содержание As максимальное на севере и снижается к югу, содержание Pb минимальное на севере и увеличивается к югу.



5. У содержания Sr нет ярко выраженных векторов распределения, лишь точечно проявлены области высокого и низкого содержания данных загрязнителей.
6. Для лесного массива (точка 24–9) характерно пониженное содержание Cr, Mn, Ni, в поверхностном слое почвы наряду с повышенным содержанием Cu.

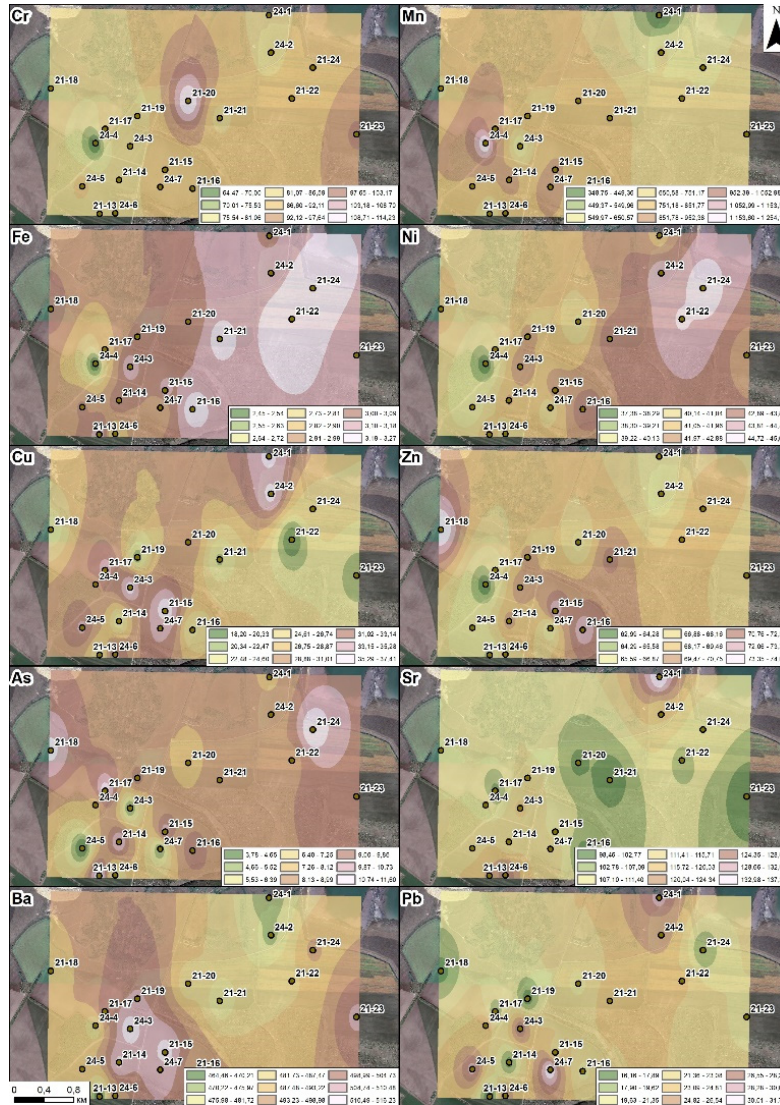


Рис. 2. Карты-схемы интерполяции значений содержания тяжелых металлов и мышьяка в слое почвы 0–20 (30) см (ключевой участок № 2)  
 Fig. 2. Scheme maps of interpolation of values of heavy metals and arsenic content in the soil layer 0–20 (30) cm (key area No. 2)

По результатам геохимического обследования 2021 и 2024 гг. на ключевой участок № 2 (пахотные земли, расположенные к югу от с. Котеневка, с. Верхнечуфичево, северная граница которых примыкает к границе промышленной зоны, вблизи которой расположен отвал мело-мергельных пород СГОКа) были построены карты-схемы интерполяции значений содержания тяжелых металлов и мышьяка. Интерполяция проведена методом обратно взвешенных расстояний (ОВР), при отображении интерполированных растров было по умолчанию оставлено количество классов (9) и метод классификации – равный интервал. Точка 24–1 расположена на залежных землях, 24–4 – в лесном массиве. Наименьшие значения содержания выделяются темно-зеленым цветом, наибольшие – светло-розовым (см. рис. 2).

Выявлены следующие основные закономерности:

1. Условно можно дифференцировать ключевой участок № 2 на восточную и западную части. Восточная часть наиболее загрязнена Fe, Ni, As, в меньшей степени Cr, Cu, Sr, Ba, Pb.
2. Содержание загрязнителей в западной части неоднородное для Fe, Cu, As – области высокого содержания соседствуют с областями низкого содержания.
3. Есть схожесть у Mn, Ba и Zn – их содержание повышается при удалении от промышленной зоны с северо-востока на юго-запад.
4. Для Sr, Pb и Cu характерно повышенное содержание вблизи границы промышленной зоны на северо-востоке (в этом и есть их отличие от Mn и Ba). В восточной части ключевого участка № 2 для Ba и Sr характерны прямо противоположные тенденции.
5. Также прямо противоположные тенденции характерны для Cr и Sr применительно к центральной и восточной части ключевого участка. У Cr в центре и на восточной периферии имеются области повышенного содержания, между ними область более низкого содержания, и у Sr, напротив, в центральной и восточной части области низкого содержания, между ними область повышенного содержания.
6. Для лесного массива (точка 24–4) характерно пониженное содержание Cr, Fe, Ni, Zn, Ba в поверхностном слое почвы наряду с повышенным содержанием Mn. Для залежных земель (точка 24–1) характерно повышенное содержание Cu, Sr и Pb и пониженное содержание Mn, Ba.

Таким образом, анализ распределения содержания ТММ как на ключевом участке № 1, так и на ключевом участке № 2 показывает, что одни загрязнители наиболее интенсивно накапливаются в поверхностном слое почвы ближе к границе промышленной зоны и по мере удаления от нее их содержание в почве уменьшается (например, Mn, Fe, Ni, Zn, Ba на ключевом участке № 1, Fe, Ni, As на ключевом участке № 2), другие – напротив накапливаются на значительном удалении от границы промышленной зоны, а вблизи самой границы промышленной зоны их содержание снижено (например, Cu, Pb на ключевом участке № 1, Zn, Ba на ключевом участке № 2). Но для понимания того, как в целом загрязнен ТММ поверхностный слой почвы агроландшафтов вблизи промышленной зоны Лебединского и Стойленского ГОКов, дополнительно был рассчитан уточненный суммарный показатель концентрации ( $Z_y$ ) по формуле [Косинова, Соколова, 2015]:

$$Z_y = \sum_{i=1}^n K_k - \log_2 n,$$

где  $K_k$  – коэффициент концентрации каждого из элементов относительно фона,  $n$  – количество элементов.

Ранее был проведен расчет показателей  $Z_c$  для территорий, показанных на рис. 1, 2 – по данным, полученным в 2021 году [Полетаев, Лисецкий, 2023] по формуле, предложенной Ю.Е. Саеом [Саеи и др., 1990; Vodyanitskii, 2010]. Но у показателя  $Z_c$  существуют недостатки [Косинова, Соколова, 2015], одним из которых является учет при его расчете только тех ТММ, по которым наблюдается превышение фоновых значений. Ввиду этого наиболее предпочтительно использовать уточненный суммарный показатель концентрации ( $Z_y$ ), т. к. он позволяет учитывать все вещества, даже не превышающие фон. Для расчета показателя  $Z_y$  в качестве фоновых показателей концентраций ТММ были использованы данные 2006 года, полученные по результатам анализа почв в заповеднике «Ямская степь» на глубине 0–20 см [Лисецкий, Голуусов, 2006]. При расчете показателя  $Z_y$  были учтены Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Pb (Fe не был учтен, т. к. иначе была бы исключена точка 21–7 ввиду отсутствия по ней данных о содержании этого элемента, Mn не был учтен, т. к. отсутствуют достоверные данные о фоновом содержании данного элемента в почве), пространственное распределение показателя  $Z_y$  представлено на рис. 3.

Показатель  $Zy$  на ключевом участке № 1 достигает наибольших значений в северной части участка (наиболее выделяются точки 21–2, 21–6), в западной части ближе к центру участка наблюдаются наименьшие значения (точка 24–10), в восточной части прослеживается зона повышенных значений  $Zy$ , при этом она протягивается с северо-востока на юго-запад с максимумом в точке 24–8.

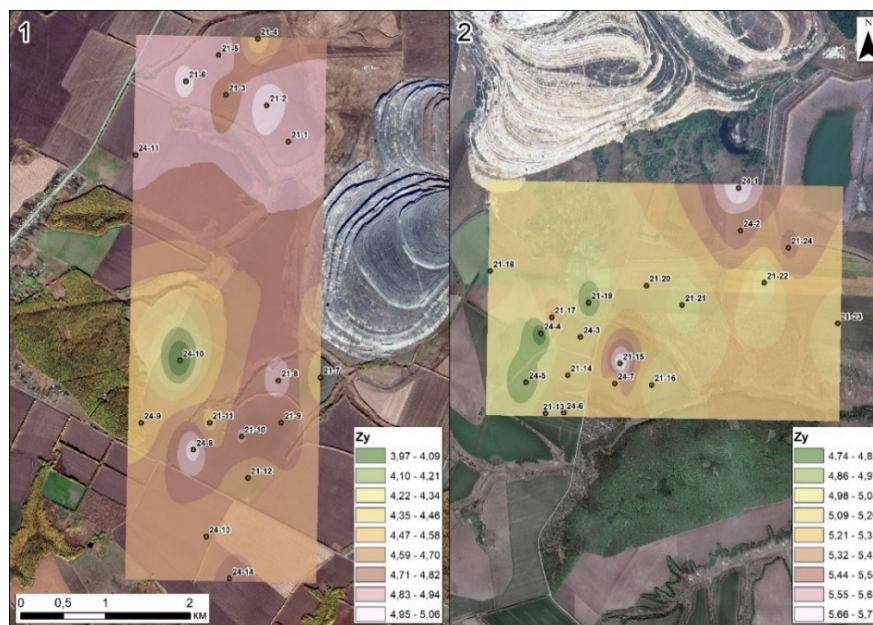


Рис. 3. Карты-схемы распределения показателя  $Zy$  на ключевом участке № 1 (1) и на ключевом участке № 2 (2)  
 Fig. 3. Fig. 3. Scheme maps of the distribution of the  $Zy$  indicator in key area No. 1 (1) and in key area No. 2 (2)

Таким образом, можно предположить, что воздушный перенос пыли от отвала окисленных кварцитов ЛГОКа наиболее часто происходит в северо-западном и юго-западном направлениях, а в западном направлении он наименее выражен. Показатель  $Zy$  на ключевом участке № 2 достигает наибольших значений в северо-восточной части участка (точка 24–1) и по направлению к югу и юго-западу уменьшается, наименьшие значения наблюдаются в юго-западной части участка (точки 24–4, 24–5). Наблюдается аномально высокое значение  $Zy$  в точке 21–15, несмотря на значительную удаленность от отвала мело-мергельных пород СГОКа. Диапазон значений  $Zy$  составляет на ключевом участке № 1 от 3,97 до 5,06, и на ключевом участке № 2 от 4,74 до 5,77, т. е. почвы ключевого участка № 2 более загрязненные по сравнению с почвами ключевого участка № 1. Но при этом, согласно эколого-геохимической оценке, уровень загрязнения на ключевых участках отсутствует ( $Zy < 5$ ) или слабый ( $5 < Zy < 10$ ).

Был выполнен попарный корреляционный анализ между рядами значений содержания Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Pb на ключевых участках № 1 и № 2. Использование попарного корреляционного анализа обусловлено тем, что он позволяет определить наличие взаимозависимостей содержания разных химических элементов в почвах [Корнилов и др., 2023]. Результаты данного анализа показаны на рис. 4.

На ключевом участке № 1 высокая корреляционная положительная связь наблюдается для пар: Ni – Cr ( $r = 0,81$ ), Ba – Mn ( $r = 0,80$ ), Ba – Zn ( $r = 0,70$ ), и средняя корреляционная положительная связь для пар: Ni – Mn ( $r = 0,68$ ), Zn – Cr ( $r = 0,54$ ), Zn – Mn ( $r = 0,67$ ), Zn – Ni ( $r = 0,63$ ), Ba – Ni ( $r = 0,55$ ), Ba – Sr ( $r = 0,51$ ). Для ключевого участка № 2 выявлена только одна средняя корреляционная положительная связь Pb – Cu



( $r = 0,59$ ). Наличие химического родства подтверждается у следующих пар: Ni – Mn, Zn – Mn, Ba – Mn [Водяницкий, 2008], соответственно Ni, Zn и Ba являются манганофилами – этим и обусловлено наличие высокой и средних корреляционных положительных связей.

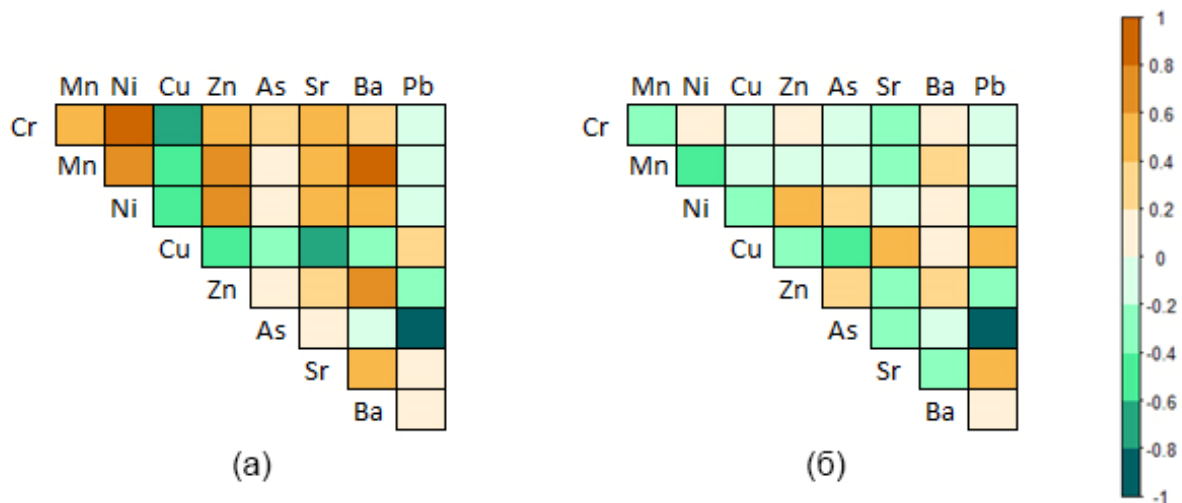


Рис. 4. Корреляционные матрицы, построенные по результатам попарного корреляционного анализа для ключевых участков № 1 (а) и № 2 (б)  
Fig. 4. Correlation matrices constructed based on the results of pairwise correlation analysis for key areas No. 1 (a) and No. 2 (b)

### Заключение

В результате проведенного исследования было выявлено, что на пахотных землях, расположенных около отвала окисленных кварцитов ЛГОКа, выявлен тренд постепенного уменьшения содержания в почве таких загрязнителей, как Mn, Fe, Ni, Zn, Ba по мере удаления от отвала, за исключением Cu и Pb, содержание которых наоборот возрастает. На пахотных землях, расположенных вблизи отвала мело-мергельных пород СГОКа, выявлено постепенное уменьшение содержания в почве загрязнителей Fe, Ni, As по мере удаления от отвала, за исключением Zn и Ba, содержание которых наоборот возрастает. Согласно уточненному суммарному показателю концентрации ( $Z_y$ ) уровень загрязнения вблизи отвала окисленных кварцитов ЛГОКа и отвала мело-мергельных пород СГОКа является слабым или отсутствует. Попарный корреляционный анализ тяжелых металлов (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb) и металлоида (As) позволил выявить ассоциации: Ni и Cr, Ba и Mn, Ba и Zn, Ni и Mn, Zn и Cr, Zn и Mn, Zn и Ni, Ba и Ni, Ba и Sr около отвала окисленных кварцитов ЛГОКа, и ассоциацию Pb и Cu вблизи отвала мело-мергельных пород СГОКа. Ассоциированные тяжелые металлы обладают сходством в пространственном распределении, которое тем выше, чем сильнее сила корреляционной связи.

### Список литературы

- Андреева И.В., Байбеков Р.Ф., Злобина М.В. 2009. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами. *Природообустройство*, 5: 5–10.
- Бауэр В.В., Сартакова О.Ю., Горелова О.М. 2023. Фиторемедиация как перспективный метод очистки почв от тяжелых металлов. *Ползуновский вестник*, 2: 160–165. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.021>.
- Бударина В.А., Игнатенко И.М., Косинова И.И. 2023. Особенности загрязнения почв и грунтов сельских поселений центральной части Белгородской области тяжелыми металлами. *Вестник ВГУ. Серия: Геология*, 4: 113–121. <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/113-121>.



- Водяницкий Ю.Н. 2008. Сродство тяжелых металлов и металлоидов к фазам-носителям в почвах. *Агрохимия*, 9: 87–94.
- Волошенко И.В., Новых Л.Л., Новых Е.А. 2022. Предложения по совершенствованию перечня характеристик почв при проведении инженерно-экологических изысканий. *Региональные геосистемы*, 46(1): 132–142. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-1-132-142>.
- Гонеев И.А., Чепелев О.А., Голеусов П.В. 2011. Общие закономерности распространения тяжелых металлов в почвах зоны влияния горнорудных предприятий КМА. *Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета*, 3–1(19): 192–199.
- Замотаев И.В., Иванов И.В., Михеев П.В., Белобров В.П. 2017. Трансформация и загрязнение почв в районах добычи железных руд (обзор литературы). *Почвоведение*, 3: 370–384. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17030121>
- Корнилов А.Г., Чендев Ю.Г., Дорошенко М.В. 2023. Фоновые почвенно-геохимические исследования в Старооскольско-Губкинском горнопромышленном районе Курской магнитной аномалии. *Успехи современного естествознания. Географические науки*, 11: 69–77. <https://doi.org/10.17513/use.38145>.
- Косинова И.И., Соколова Т.В. 2015. Методологические особенности оценки экологического состояния донных отложений искусственно созданных водных объектов. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*, 3: 113–121.
- Котенко Е.А., Морозов В.Н., Кушнеренко В.К., Анисимов В.П. 2003. Геоэкологические проблемы КМА и пути их решения. *Горная промышленность*, 2: 12–16.
- Лисецкий Ф.Н., Боровлев А.Э., Чепелев О.А., Терехин Э.А., Ломиворотова О.М. 2011. Мониторинг техногенного воздействия в действующих и вновь создаваемых промышленных районах (на примере Белгородской области). *Экологические системы и приборы*, 7: 30–35.
- Лисецкий Ф.Н., Голеусов П.В. 2006. Геоэкологические исследования современного состояния природных сред в зоне влияния Курской магнитной аномалии. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*, 1: 222–225.
- Лисецкий Ф.Н., Свиридова А.В., Кухарук Н.С., Голеусов П.В., Чепелев О.А. 2008. Аккумуляция тяжелых металлов в растениеводческой продукции зоны техногенеза. *Вестник Оренбургского государственного университета*, 10(92): 142–149.
- Лисецкий Ф.Н., Чендев Ю.Г., Голеусов П.В., Чепелев О.А. 2004. Загрязнение почвы тяжелыми металлами в зоне Курской магнитной аномалии. *Научные труды Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана*, 10: 286–291.
- Некрич А.С. 2007. Оценка эколого-хозяйственного состояния территорий Старооскольского, Губкинского и Яковлевского административных районов Белгородской области. *Проблемы региональной экологии*, 4: 28–33.
- Петин А.Н., Игнатенко И.М. 2016. Минерально-сырьевые ресурсы богатых железных руд Белгородского района Курской магнитной аномалии. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*, 25(246): 138–142.
- Полетаев А.О., Лисецкий Ф.Н. 2023. Использование мониторинговых данных и ГИС-технологий для корректировки границ санитарно-защитных зон в связи с развитием Старооскольско-Губкинского промышленного района. *Геополитика и экогеодинамика регионов*, 9(3): 338–347.
- Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. 1990. *Геохимия окружающей среды*. М., Недра, 335 с.
- Стифеев А.И., Никитина О.В., Лазарев В.И., Зиновьев Р.А. 2021. Агроэкологическое состояние почвенного покрова на территории железорудных месторождений Курской магнитной аномалии. *Агрохимия*, 7: 57–63. <https://doi.org/10.31857/S0002188121070103>
- Ahmad W., Alharthy R.D., Zubair M., Ahmed M., Hameed A., Rafique S. 2021. Toxic and Heavy Metals Contamination Assessment in Soil and Water to Evaluate Human Health Risk. *Scientific Reports*, 11: 17006. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94616-4>.
- Deng S., Zhang X., Zhu Y., Zhuo R. 2024. Recent Advances in Phyto-Combined Remediation of Heavy Metal Pollution in Soil. *Biotechnology Advances*, 72: 108337. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108337>.

- Semenkov I., Koroleva T. 2020. Heavy Metals Content in Soils of Western Siberia in Relation to International Soil Quality Standards. *Geoderma Regional*, 21: e00283. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00283>.
- Vodyanitskii Y.N. 2010. Equations for Assessing the Total Contamination of Soils with Heavy Metals and Metalloids. *Eurasian Soil Science*, 43: 1184–1188. <https://doi.org/10.1134/S106422931010011X>
- Yang S., Sun L., Sun Y., Song K., Qin Q., Zhu Z., Xue Y. 2023. Towards an Integrated Health Risk Assessment Framework of Soil Heavy Metals Pollution: Theoretical Basis, Conceptual Model, and Perspectives. *Environmental Pollution*, 316(2): 120596. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120596>.
- Zhou H., Yue X., Chen Y., Liu Y. 2024. Source-Specific Probabilistic Contamination Risk and Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in a Typical Ancient Mining Area. *Science of the Total Environment*, 906: 167772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167772>.

### References

- Andreeva I.V., Baibekov R.F., Zlobina M.V. 2009. Phytoremediation of the Soils Contaminated with Heavy Metals, 5: 5–10 (in Russian).
- Bauer V.V., Sartakova O.Yu., Gorelova O.M. 2023. Phytoremediation as a Promising Method of Soil Purification from Heavy Metals. *Polzunovskiy VESTNIK*, 2: 160–165 (in Russian). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.021>.
- Budarina V.A., Ignatenko I.M., Kosinova I.I. 2023. Features of Soil Contamination of Rural Settlements in the Central Part of the Belgorod Region with Heavy Metals. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 4: 113–121 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/113-121>.
- Vodyanitsky Yu.N. 2008. Srodstvo tyazhelykh metallov i metalloidov k fazam-nositelyam v pochvakh [Affinity of Heavy Metals and Metalloids to Carrier Phases in Soils]. *Agrochemistry*, 9: 87–94.
- Voloshchenko I.V., Novykh L.L., Novykh E.A. 2022. Proposals for Improving the List of Soil Characteristics During Engineering and Environmental Surveys. *Regional Geosystems*, 46(1): 132–142 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-1-132-142>.
- Goneev I.A., Chepelev O.A., Goleusov P.V. 2011. Obshchiye zakonomernosti rasprostraneniya tyazhelykh metallov v pochvakh zony vliyaniya gornorudnykh predpriyatiy KMA [General Patterns of Heavy Metal Distribution in Soils of the Influence Zone of Mining Enterprises of KMA]. *Uchenyye zapiski. Elektronnyy nauchnyy zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*, 3–1(19): 192–199.
- Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V., Belobrov V.P. 2017. Transformation and Contamination of Soils in Iron Ore Mining Areas (a Review). *Eurasian Soil Science*, 50(3): 359–372 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229317030127>
- Kornilov A.G., Chendev Yu.G., Doroshenko M.V. 2023. Background Soil-Geochemical Studies in the Starooskolsko-Gubkinsky Mining District of Kursk Magnetic Anomaly. *Advances in current natural sciences. Geographical Sciences*, 11: 69–77 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/use.38145>.
- Kosinova I.I., Sokolova T.V. 2015. Methodological Features Assessment of Ecological Conditions Sediments of Artificially Created Water Bodies. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology*, 3: 113–121 (in Russian).
- Kotenko E.A., Morozov V.N., Kushnerenko V.K., Anisimov V.P. 2003. Geoekologicheskiye problemy KMA i puti ikh resheniya [Geoecological Problems of KMA and Ways of Their Solution]. *Gornaya promyshlennost*, 2: 12–16.
- Lisetskii F.N., Borovlev A.E., Chepelev O.A., Terekhin E.A., Lomivorotova O.M. 2011. Monitoring Technogenic Influence in Acting and Newly Created Industrial Areas (for Example, the Belgorod Region). *Ecological Systems and Devices*, 7: 30–35 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Goleusov P.V. 2006. Geological Investigations of Natural Waters Modern Condition in a Zone of Influence of Kursk Magnetic Anomaly. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology*, 1: 222–225 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Sviridova A.V., Kuharuk N.S., Goleusov P.V., Chepelev O.A. 2008. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v rasteniyevodcheskoy produktsii zony tekhnogeneza [Accumulation of



- Heavy Metals in Plant Products of the Technogenesis Zone]. Bulletin of the Orenburg State University, 10(92): 142–149.
- Lisetskii F.N., Chendev Yu.G., Goleusov P.V., Chepelev O.A. 2004. Zagryazneniye pochvy tyazhelymi metallami v zone Kurskoy magnitnoy anomalii [Soil Pollution with Heavy Metals in the Kursk Magnetic Anomaly Zone]. Nauchnyye trudy Federalnogo nauchnogo tsentra gigiyeny im. F.F. Erismana, 10: 286–291.
- Nekrich A.S. 2007. Assessment of Ecological-Economic Status of Starooskolskiy, Gubkinskiy and Yakovlevskiy Districts of Belgorodskaya Oblast. Problems of Regional Ecology, 4: 28–33 (in Russian).
- Petin A.N., Ignatenko I.M. 2016. Mineral-Raw Material Resources of Rich Iron Ores of Belgorod District of the Kursk Magnetic Anomaly. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series, 25(246): 138–142 (in Russian).
- Poletaev A.O., Lisetskii F.N. 2023. The Use of Monitoring Data and GIS Technologies to Adjust the Boundaries of Sanitary Protection Zones in Connection with the Development of the Stary Oskol and Gubkin Industrial Region. Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions, 9(3): 338–347 (in Russian).
- Sayet 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., Sargsyan S.Sh. 1990. Geokhimiya okruzhayushchey sredy [Environmental Geochemistry]. Moscow, Publ. Nedra, 335 p.
- Stifeev A.I., Nikitina O.V., Lazarev V.I., Zinoviev R.A. 2021. Agroecological State of the Soil Cover on the Territory of Iron Ore Deposits of the Kursk Magnetic Anomaly. Agrochemistry, 7: 57–63 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188121070103>
- Ahmad W., Alharthy R.D., Zubair M., Ahmed M., Hameed A., Rafique S. 2021. Toxic and Heavy Metals Contamination Assessment in Soil and Water to Evaluate Human Health Risk. Scientific Reports, 11: 17006. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94616-4>.
- Deng S., Zhang X., Zhu Y., Zhuo R. 2024. Recent Advances in Phyto-Combined Remediation of Heavy Metal Pollution in Soil. Biotechnology Advances, 72: 108337. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108337>.
- Semenkov I., Koroleva T. 2020. Heavy Metals Content in Soils of Western Siberia in Relation to International Soil Quality Standards. Geoderma Regional, 21: e00283. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00283>.
- Vodyanitskii Y.N. 2010. Equations for Assessing the Total Contamination of Soils with Heavy Metals and Metalloids. Eurasian Soil Science, 43: 1184–1188. <https://doi.org/10.1134/S106422931010011X>
- Yang S., Sun L., Sun Y., Song K., Qin Q., Zhu Z., Xue Y. 2023. Towards an Integrated Health Risk Assessment Framework of Soil Heavy Metals Pollution: Theoretical Basis, Conceptual Model, and Perspectives. Environmental Pollution, 316(2): 120596. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120596>.
- Zhou H., Yue X., Chen Y., Liu Y. 2024. Source-Specific Probabilistic Contamination Risk and Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in a Typical Ancient Mining Area. Science of the Total Environment, 906: 167772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167772>.

*Поступила в редакцию 29.07.2024;  
поступила после рецензирования 23.08.2024;  
принята к публикации 09.09.2024*

*Received July 29, 2024;  
Revised August 23, 2024;  
Accepted September 09, 2024*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Поletaев Арсений Олегович**, кандидат географических наук, инженер отдела нормирования источников загрязнения **Arseniy O. Poletaev**, Candidate of Geographical Sciences, Engineer of the Department for Air Pollution Sources Standardization of the Federal





воздуха Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Севрюков Илья Сергеевич**, магистрант Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Ilya S. Sevryukov**, Master Student of the Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia