



УДК 504.054:543.621

ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕХНОЗЕМАХ ХВОСТОХРАНИЛИЩА НЕРЧИНСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Б. В. Дампилова, С. Г. Дорошкевич

Геологический институт СО РАН им. Н. Л. Добрецова, Улан-Удэ, Россия

Загрязнение почв, прилегающих к хвостохранилищу Нерчинского полиметаллического комбината (Восточное Забайкалье), обусловлено протеканием эоловых процессов в условиях сухого резко континентального климата. Изучаемая территория характеризуется высоким валовым содержанием (мг/кг) цинка (до 5000), мышьяка (до 1400), свинца (до 600), кадмия (до 36), сурьмы (до 30). Методом последовательного экстрагирования в статическом режиме проведено определение ионообменной водо- и кислоторастворимой, восстанавливаемой, окисляемой, остаточной форм элементов. По физико-химической подвижности и биологической доступности элементы расположены в следующем ряду по убывающей последовательности $Zn > Mn > Pb > Ni > Cu > As > Fe$. В ризосфере (в прикорневой зоне) растений содержание окисленных форм меди, цинка, свинца и труднодоступных форм мышьяка, железа, никеля превышает таковое в технозомах.

Ключевые слова: подвижные формы, тяжелые металлы, отходы обогащения, почва.

MOBILE FRACTION OF ELEMENTS IN TECHNOSOLS OF TAILINGS STORAGE FACILITY OF THE NERCHINSK POLYMETALLIC COMPLEX

B. V. Dampilova, S. G. Doroshkevich

N.L.Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

Contamination of soils adjacent to the tailings storage facility of the Nerchinsk Polymetallic Complex (East Transbaikalia) is caused by the behaviour of Aeolian processes in a dry sharply continental climate. The studied territory is characterized by a high gross content (mg/kg) of zinc up to 5000, arsenic up to 1400, lead up to 600, cadmium up to 36, antimony up to 30. The method of sequential extraction in static mode was used to determine the ion-exchange water- and acid-soluble, reducible, oxidizable, residual forms of elements. The elements of physical-chemical mobility and bioavailability are arranged in the following series according to their decreasing sequence $Zn > Mn > Pb > Ni > Cu > As > Fe$. The rhizosphere (root zone) of plants is characterized by the content of oxidized forms of copper, zinc, lead and hard-to-reach forms of arsenic, iron, nickel exceeding that in technosols.

Keywords: mobile fraction, heavy metals, tailings, soil.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-2-62-67

Нерчинский полиметаллический комбинат занимался обработкой Кличкинской группы полиметаллических месторождений (Савинское, Почекуевское, Кличкинское), которые находятся в Приаргунском районе Забайкальского края. Территория сложена осадочными метаморфическими нижнепалеозойскими и магматическими верхнеюрскими породами. В состав руд Кличкинского месторождения входят рудные (сфалерит, галенит, пирротин, пирит, арсенопирит) и нерудные (волластонит, пироксен, гранат, кварц, кальцит, флюорит, шеелит и др.) минералы [10].

Обработка и обогащение сырья месторождения с 1955 до 1994 г. осуществлялась Кличкинским рудником и Нерчинским полиметаллическим комбинатом. Попутно со свинцом, цинком и мышьяком из руд извлекались серебро, кадмий, золото, индий и сурьма. Хвостохранилище занимает площадь около 56 га; общий объем отходов обогащения руд составляет 1645 тыс. м³ (4392 тыс. т.) [6]. В результате эоловых процессов в условиях сухого резко континентального климата происходит вынос тонкой фракции желтоватого материала хранилища отходов обогащения руд и его отложение

в верхней части почв долины р. Урулюнгуй (бассейн р. Аргунь) [4].

Сформированные технозоны содержат основные рудные элементы (цинк, мышьяк и свинец), оказывающие негативное влияние на окружающую среду. Хвостохранилища рудных месторождений Восточного Забайкалья (оловополиметаллические Шерловогорское, Хапчерангинское, полиметаллические Кличкинское, Акатуевское, Благодатское, Новоширокское) характеризуются высокой токсичностью химических элементов по отношению к растениям [6]. В технозомах прилегающих к месторождениям территорий зафиксирован высокий уровень содержания кадмия (2,9–5 мг/кг), сурьмы (15–34 мг/кг), мышьяка (80–600 мг/кг), цинка (305–587 мг/кг) и свинца (114–1510 мг/кг) [5, 9]. В технозомах Шерловогорского рудного района содержание кислоторастворимых форм цинка и кадмия, извлеченных путем выщелачивания минеральными (HCl, H₂SO₄, HNO₃) и органическими (CH₃COOH) кислотами, достигает 72,37 и 63,96 % соответственно; водорастворимого кадмия – до 23,80 % [11]. Доля подвижных форм мышьяка в почвах Шерловогорского месторождения изменяется от 43 до 68 %, а неподвижных

(остаточных) – от 32 до 57 % [3]. Также отмечено [8], что при высоком валовом содержании мышьяка (100 г/т) наблюдается преимущество неподвижной (68 %) его формы над ионнообменной/подвижной (4 %). Несмотря на то что в пределах территорий, граничащих с хвостохранилищами месторождений Восточного Забайкалья, проведены изыскания по определению степени их загрязнения токсичными элементами (с определением их валового содержания и подвижных форм), полученных данных явно недостаточно для выявления распределения форм этих элементов между фракциями. В связи с этим на основе метода последовательного экстрагирования химических элементов в статическом режиме нами проведено изучение форм подвижности ряда элементов (меди, цинка, свинца, никеля, мышьяка, железа и марганца) и их распределения между фракциями в техноземах Нерчинского полиметаллического комбината, а также выяснение физико-химической подвижности потенциально токсичных химических элементов и их биологической доступности.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили техноземы, прилегающие к хвостохранилищу Нерчинского полиметаллического комбината (Восточное Забайкалье). Модельная площадка располагалась в 100 м от южной дамбы нижнего отстойника хвостохранилища на левой стороне долины р. Урулюнгуй. Объединенные пробы отобраны из верхнего генетического горизонта до глубины 10 см методом конверта со сторонами 20 м. Масса навески для определения валового содержания химических элементов составляла 0,25 г, их подвижных форм – 0,5 г. Образцы проб для рентгенофлуоресцентного анализа предварительно перетирались в агатовой ступке для гомогенизации и высушивались при 105 °С. Для последовательного фракционирования пробы пропустили через сита 1 мм.

Подвижные формы тяжелых металлов определены методом фракционирования BCR (Community

Bureau of Reference, Institute for Reference Materials and Measurements), утвержденным в Бюро по эталонам Европейской комиссии [13]. Это стандартный метод для фракционирования соединений тяжелых металлов в донных отложениях, илах и почвах. Он позволяет последовательно выделить следующие фракции тяжелых металлов: 1) ионнообменная водо- и кислоторастворимая, 2) восстанавливаемая, 3) окисляемая, 4) остаточная.

Первая фракция, полученная путем извлечения элемента 0,11 М раствором CH_3COOH , содержит металлы, соосажденные с карбонатами, и металлы, адсорбированные на поверхности глинистых частиц. *Вторая* фракция определяет средnedоступные для растений элементы, связанные с оксидами железа и марганца, которые являются одними из основных центров связывания тяжелых металлов в почвах и донных отложениях. В качестве экстрагента использовался 0,5 М раствор $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$. *Третья* фракция включает соединения металлов, извлекаемые из органических веществ (гуминовые вещества, протеины, пептиды, аминокислоты, карбогидраты и т.д.), путем их экстракции 1 М раствором $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с $\text{pH} = 2$. Для улавливания сульфидной фракции обработку образцов проводили царской водкой [2]. Для разложения *четвертой* фракции использовали смесь кислот HF , HNO_3 , HClO_4 . Параллельно с исследуемыми образцами анализу подвергался стандартный образец BCR701.

Валовое содержание элементов (W, Pb, Zn, Cu, Ni, Mo, Cd, Mn, Fe) в пробах определялось на кристалл-дифракционном спектрометре ARL Perform'X; концентрация элементов в растворе – на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой высокого разрешения Element XR Thermo scientific Fisher.

Результаты исследований

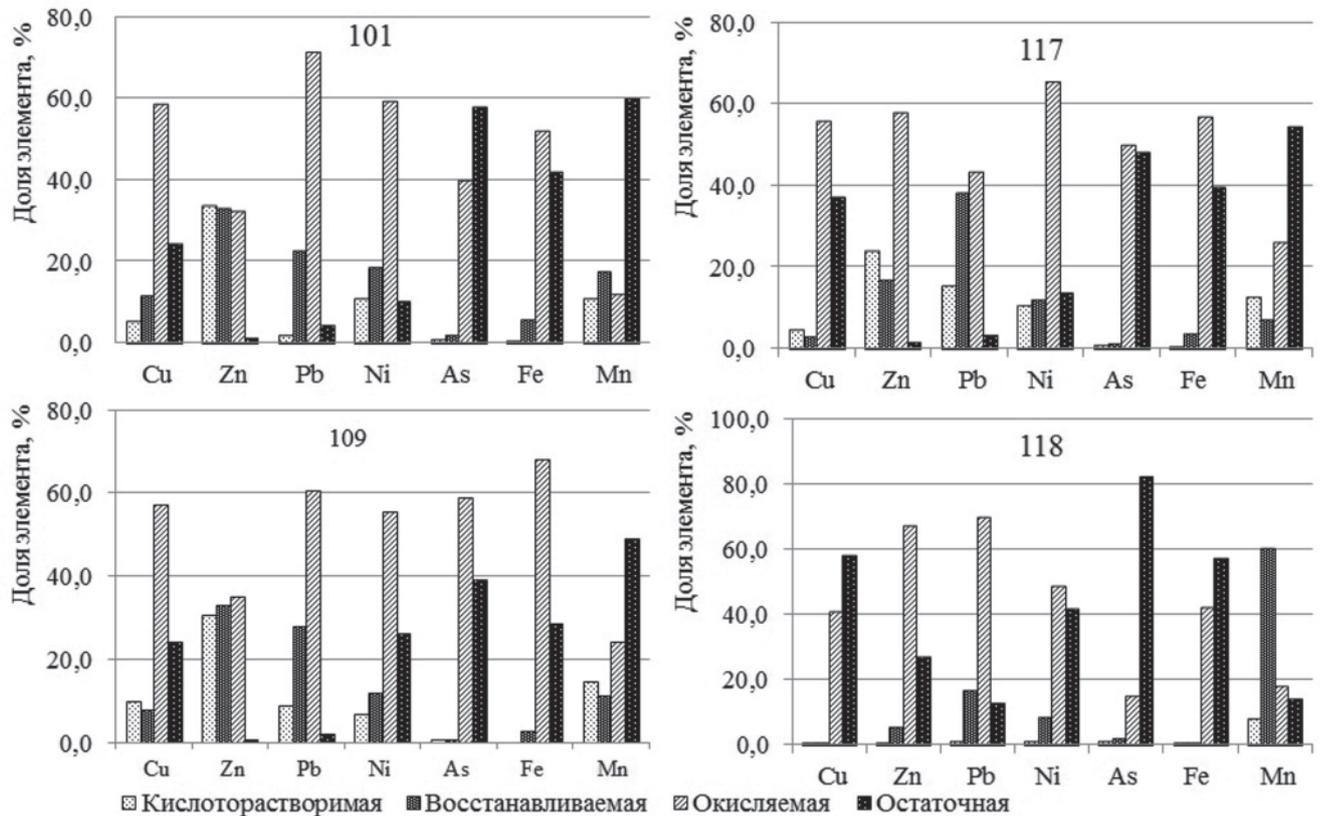
Техноземы характеризуются высоким валовым содержанием (мг/кг) цинка (до 5000), мышьяка (до 1400), свинца (до 600), кадмия (до 36), сурьмы (до 30) (табл. 1, см. рисунок). Установлены повышен-

Таблица 1

Валовое содержание потенциально опасных химических элементов в верхнем слое почв техногенного участка, прилегающего к хвостохранилищу Нерчинского полиметаллического комбината

Проба	Элемент										
	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Sb	As	W	Mo
	%		мг/кг								
101	6,6	0,60	94	2980	415	47	23	28	1380	4730	н/о
101р*	6,3	0,64	94	2600	372	45	20	30	1370	400	н/о
109	4,2	0,53	110	5070	585	40	36	20	452	н/о	7
109р*	4,1	0,50	98	3080	442	43	19	18	554	н/о	3
117	4,5	0,56	87	2210	413	40	17	19	674	н/о	н/о
117р*	3,6	0,48	82	1900	365	31	14	16	374	320	2
118 (фон)	2,8	0,10	38	128	84	34	н/о	8	100	н/о	н/о
118р* (фон)	2,4	0,09	31	162	97	29	н/о	9	82	н/о	н/о
ПДК [7]	–	0,15	3,0	23	32	4,0	–	4,5	2,0	–	–

Примечания: н/о – не обнаружен, * – проба ризосферы.



Диаграммы распределения форм элементов в верхнем слое почвы техногенного участка, прилегающего к хвостохранилищу Нерчинского полиметаллического комбината

ные относительно фона содержания свинца, мышьяка, цинка в 6,5, 15,2, 22,2 раза соответственно. Вольфрам распределяется по изученной территории неравномерно: в фоновых образцах и в пробе 109 он не обнаружен, в пробе 117 выявлен только в ризосфере, а в пробе 101 его содержание достигает 4730 мг/кг. Максимальное превышение ПДК мышьяка – до 690, цинка – до 220, меди – до 36,7, никеля – до 11,7, свинца – до 8,3, сурьмы – до 6,7. ПДК по валовому содержанию железа, кадмия, вольфрама, молибдена в нормативном документе отсутствуют. Показатель pH водной вытяжки исследуемых проб находится в диапазоне 7,1–7,9, для фоновых образцов значение pH 8,0–8,2.

Обсуждение результатов

Значительные валовые концентрации потенциально опасных химических элементов на исследованной территории связаны с тем, что в почвах они аккумулируются в поверхностных горизонтах из-за высокого содержания в последних органического вещества. Кроме того, большинство из них ассоциируют с глинистыми минералами, гидроксидами алюминия и железа [12]. Высокое валовое содержание мышьяка в верхнем слое техноземов, прилегающих к хвостохранилищу комбината, вероятнее всего, связано с процессом обогащения руд: из руды извлекались галенит и сфалерит для получения концентратов свинца и цинка, а арсенопирит, являющийся основным минералом мышьяка, отправлял-

ся в отходы обогащения. Это предположение может быть подтверждено имеющейся информацией по присутствию арсенопирита в месторождениях олова и полиметаллов вследствие участия мышьяка на всех стадиях минерализации руд как в главных, так и во второстепенных геохимических ассоциациях элементов [8]. Высокое количество вольфрама в некоторых образцах связано с его случайным попаданием с шеелитом – основным рудным минералом хвостохранилища [3].

Максимальное превышение ПДК подвижной формы химических элементов составляет: для цинка до 847, свинца до 13,5, меди до 3,7, никеля до 1,3; по Cd, Sb, As, W, Mo, Fe, Mn в нормативном документе [7] информации нет. Несмотря на высокие содержания подвижных форм цинка и свинца, их растворимость ограничивают нейтральные и слабощелочные значения pH почвы и засушливые климатические условия Восточного Забайкалья. Так, в работе [1] отмечена низкая растворимость тяжелых металлов в нейтральной и слабощелочной среде вследствие насыщения по гидроксидам и присутствием в рудах карбонатных минералов, поступающих в составе кеков в хвостохранилище.

Фоновый образец (проба 118) характеризуется малой подвижностью элементов, что связано с достаточно высоким содержанием в нем органического вещества (в среднем 3,2 %). Так, концентрации обменной и кислоторастворимой форм меди, цинка и железа не более 0,3 %; свинца, никеля и мышьяка



Таблица 2

Распределение форм элементов в верхнем слое почв техногенного участка, прилегающего к хвостохранилищу Нерчинского полиметаллического комбината, мг/кг

Проба	Фракция	Элемент								
		Zn	Mn	Pb	Ni	Cu	As	Fe	W	Mo
101	1	1803	486	8,40	5,10	4,80	12,5	86,0	н/о	0,30
	2	1773	782	115	8,70	10,6	35,0	4830	н/о	0,30
	3	1726	528	367	27,9	54,4	820	44830	15,0	0,70
	4	49,8	2700	21,4	4,80	22,7	1194	36250	28,0	0,30
109	1	2542	660	67,0	2,70	11,2	6,80	86,0	н/о	0,20
	2	2741	513	209	4,70	9,10	7,90	1750	н/о	0,30
	3	2923	1085	451	21,7	64,9	499	39280	н/о	2,50
	4	63,2	2200	15,9	10,3	27,7	332	16560	н/о	0,30
117	1	936	456	81,3	3,50	3,10	8,60	76,0	н/о	0,30
	2	645	253	204	4,01	1,80	11,9	2264	н/о	0,30
	3	2252	956	233	22,3	38,1	583	38278	н/о	1,00
	4	56,3	2000	17,5	4,60	25,3	566	26440	2,60	0,30
118	1	0,40	75,0	1,02	0,30	0,10	2,01	20,0	н/о	0,30
	2	9,50	578	20,3	2,70	0,10	3,70	166	н/о	0,30
	3	118	170	85,3	15,5	15,1	31,4	13695	н/о	0,70
	4	47,3	135	15,2	13,4	21,5	175	18737	1,50	0,30

Примечание: н/о – не обнаружен.

не более 0,9 % (см. рисунок). Количество марганца в данной фракции достигает 7,8 % от общего содержания элемента в пробе.

В верхнем слое почвы техногенного участка наиболее подвижным из изученных химических элементов является цинк, так как на долю биологически доступной (обменной и кислоторастворимой) формы приходится 22,7–33,7 % от общего его содержания (см. рисунок, табл. 2). Следующие по подвижности элементы – марганец (10,4–15,2 %), свинец (1,6–15,2 %), никель (6,9–10,9 %) и медь (3,5–9,9 %) (см. рисунок). Несмотря на высокие валовые содержания мышьяка (374–1380 мг/кг) и железа в верхнем слое почв техногенного участка, на обменные и кислоторастворимые формы этих элементов приходится 0,5–0,9 и 0,1 % соответственно, лишь в пробе 109 (10,3 %). Наибольшее количество железа приходится на окисленную форму (38278–44830 мг/кг, т. е. более 49 % от общего содержания элемента); мышьяка – на остаточную форму (332–1194 мг/кг, или 39–77 %) (см. табл. 2, рисунок). Это свидетельствует о слабой миграционной способности указанных элементов, что связано со слабощелочной реакцией среды исследованных почв. Подвижные формы вольфрама и молибдена практически не обнаружены. Вольфрам выявлен в пробе 101 (15 и 28 мг/кг в окисляемой и остаточной фракциях соответственно, см. табл. 2), что коррелирует с валовыми его количествами (см. табл. 1). Изученные химические элементы по их физико-химической подвижности и биологической доступности располагаются в следующий ряд (по убыванию): Zn > Mn > Pb > Ni > Cu > As > Fe.

Накопление химических элементов в ризосфере растений происходит неоднозначно. Отмече-

но, что в ряде проб валовое количество марганца, никеля, сурьмы, мышьяка и вольфрама превышает таковое в технозомах (см. табл. 1). Деятельность растений приводит к увеличению содержания окисленных форм меди, цинка, свинца и труднодоступных форм мышьяка, железа, никеля в прикорневой зоне техноземов (см. рисунок), что связано, вероятнее всего, с выборочным поглощением химических элементов растениями.

Выводы

Таким образом, проведенными исследованиями установлены повышенные содержания доступных для растений форм цинка, марганца, свинца, никеля и меди, подвижность которых ограничивают нейтральные и слабощелочные значения pH почвы, а также изменение окислительно-восстановительных условий среды при засушливых климатических условиях Восточного Забайкалья. Изучаемая территория характеризуется высоким валовым содержанием (мг/кг) цинка (до 5070), мышьяка (до 1380), свинца (до 585), кадмия (до 36), сурьмы (до 30). Максимальное количество ионообменной и кислоторастворимой формы характерно для цинка (33,7 %), восстанавливаемой формы – для свинца (38,1 %), окисляемой формы – для железа (68,1 %) и свинца (69,9 %), остаточной фракции – для мышьяка (82,6 %) (см. табл. 2). По физико-химической подвижности и биологической доступности химические элементы располагаются в следующий ряд по убыванию: Zn > Mn > Pb > Ni > Cu > As > Fe. Сравнительный анализ содержания образцов ризосферы и почвы выявил увеличение содержания окисленных форм меди, цинка, свинца и труднодоступных



форм мышьяка, железа, никеля в прикорневой зоне техноземов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту № АААА-А21-121011890033-1 «Геозекологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока»; работа проведена с использованием средств Центра коллективного пользования «Геоспектр» (Улан-Удэ, Россия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Замана Л. В., Чечель Л. П.** Гидрогеохимические особенности зоны техногенеза полиметаллических месторождений юго-восточного Забайкалья // *Успехи современного естествознания*. – 2015. – № 1. – С. 33–38.

2. **Концентраты молибденовые.** Методы определения мышьяка. ГОСТ 2082.5-81. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024297>.

3. **Корешкова Ю. В., Юргенсон Г. А.** Формы нахождения мышьяка в почвогрунтах Шерловогорского горнорудного района // *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование*. Тр. III Всерос. симп. и IX Всерос. чтений памяти акад. А. Е. Ферсмана. – Чита: Поиск, 2010. – С. 19–22.

4. **Ландшафтно-геохимические** изменения, вызванные разработкой рудных месторождений / В. А. Алексеенко, Г. А. Юргенсон, Н. В. Швыдка, А. В. Пузанов // *Вестник Забайкальского государственного университета*. – 2019. – Т. 5, № 5. – С. 6–17.

5. **Минералого-геохимические** особенности техноземов хвостохранилища Нерчинского полиметаллического комбината и его влияние на экологическое состояние окружающей среды / Г. А. Юргенсон, Р. А. Филенко, О. К. Смирнова и др. // *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование*. Тр. IV Всерос. симп. и X Всерос. чтений памяти акад. А. Е. Ферсмана. – Чита: Поиск, 2012. – С. 41–45

6. **Оценка** потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений (Восточное Забайкалье, Россия) / Б. Н. Абрамов, О. В. Еремин, Р. А. Филенко, Т. Г. Цыренов // *Геосферные исследования*. – 2020. – № 2. – С. 64–75.

7. **СанПиН 1.2.3685-21.** Гигиенические нормы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. П. IV. Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. – М.: ЦЕНТРМАГ, 2022. – 736 с.

8. **Солодухина М. А., Юргенсон Г. А.** Мышьяк в ландшафтах Шерловогорского рудного района (Восточное Забайкалье) – Чита: ЗабГУ, 2018. – 176 с.

9. **Состояние** почвенного покрова в районах техногенных биогеохимических аномалий Забайкалья /

Е. А. Бондаревич, Н. Н. Коцюржинская, А. А. Войченко и др. // *Успехи современного естествознания*. – 2020. – № 3. – С. 57–64.

10. **Талдыкина К. С.** Минералогия полиметаллических месторождений Кличкинской группы Восточного Забайкалья. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 122 с.

11. **Юргенсон Г. А., Шукшин В. В.** Новые данные о формах нахождения цинка и кадмия в почвах и техноземах природного и техногенного ландшафта Шерловогорской геохимической аномалии // *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование*. Тр. V Всерос. симп. и XII Всерос. чтений памяти акад. А. Е. Ферсмана. – Чита: Поиск, 2014. – С. 97–100.

12. **Kabata-Pendias A.** Trace Elements in Soils and Plants. – London, New York: CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2011. – 505 p.

13. **Whalley C., Grant A.** Assessment of the phase selectivity of the European Community Bureau of Reference (BCR) sequential extraction procedure for metals in sediment // *Analytica Chimica Acta*. – 1994. – Vol. 61. – P. 2211–2221.

REFERENCES

1. Zamana L.V., Chechel L.P. [Hydrogeochemical features of the zone technogenesis polymetallic deposits southeastern Transbaikalia]. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniya – Advances in Current Natural Sciences*, 2015, no. 1, pp. 33–38. (In Russ.).

2. *Kontsentraty molibdenovyye. Metody opredeleniya myshyaka. GOST 2082.5-81* [Molybdenum concentrates. Methods for determination of arsenic. State Standard 2082.5-81]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024297>. (In Russ.).

3. Korshkova Yu.V., Yurgenson G.A. [Occurrence forms of arsenic in soils and rocks of Sherlovogorsk mining district]. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Sovremennoe mineraloobrazovanie: Trudy III vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem i IX vserossiyskikh chteniy pamyati akademika Fersmana*. [Mineralogy and Geochemistry of Landscape of ore mining territories. Present-day mineral formation. Proceedings of the 3rd All-Russia Symposium and 9th All-Russia. Lectures in memory of academician A.E. Fersman]. Chita, Poisk Publ., 2010, pp. 19–22. (In Russ.).

4. Alekseenko V.A., Yurgenson G.A., Shvydkaya N.V., Puzanov A.V. [Geochemical landscape changes caused by the development of ore deposits]. *Vestnik Zabayskogo gosudarstvennogo universiteta – Transbaikalia State University Journal*, 2019, vol. 5, no. 5, pp. 6–17. (In Russ.).

5. Yurgenson G.A., Filenko R.A., Smirnova O.K., Doroshkevich S.G., Ovseychuk V.A. [Mineralogical and geochemical peculiarities of technosoils of Nerchinsk Polymetallic Complex tailings storage facility and its influence on ecological condition of the environment]. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh*



territoriy. *Sovremennoe mineraloobrazovanie: Trudy IV Vseros. simp. s mezhdunarodnym uchastiem i X vserossiyskikh chteniy pamyati akademika Fersmana* [Mineralogy and Geochemistry of Landscape of ore mining territories. Present-day mineral formation. Proceedings of the 4th All-Russia Symposium and 10th All-Russia. Lectures in memory of academician A. E. Fersman]. Chita, Poisk Publ., 2012, pp. 41–45. (In Russ.).

6. Abramov B.N., Eremin O.V., Filenko R.A., Tsyrenov T.G. [Assessment of potential environment hazards of natural and man-made complexes of ore deposits (Eastern Transbaikalia, Russia)]. *Geosfernyye issledovaniya – Geosphere Research*, 2020, no. 2, pp. 64–75. (In Russ.).

7. SanPiN 1.2.3685-21. *Gigiyenicheskiye normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya. P. IV. Pochva naseleennykh mest i sel'skokhozyaystvennykh ugodiy. Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) i oriyentirovochno dopustimyye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve* [Sanitary rules and regulations 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Item IV. The soil of populated areas and agricultural land. Maximum Permissible Concentrations (MPC) and Approximately Permissible Concentrations (AEC) of chemicals in soil]. M.: TSENTRMAG Publ., 2022. 736 p. (In Russ.).

8. Solodukhina M.A., Yurgenson G. A. *Myshyak v landshaftakh Sherlovogorskogo rudnogo rayona (Vostochnoye Zabaykalye)* [Arsenic in landscapes of the Sherlovogorsky ore region (Eastern Transbaikalia)]. Chita, Transbaikalian State University Publ., 2018. 176 p. (In Russ.).

9. Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N. N., Voychenko A. A., et al. [The state of the soil cover in the areas of technogenic biogeochemical anomalies in Transbaikalian region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Advances in Current Natural Sciences*, 2020, no. 3, pp. 57–64. (In Russ.).

10. Tal'dykina K.S. *Mineralogiya polimetallicheskiy mestorozhdeniy Klichkinskoy gruppy Vostochnogo Zabaykalya* [Mineralogy of poly-metallic deposits of the Klichka group of East Transbaikalia]. Moscow, AS USSR Publ., 1962. 122 p. (In Russ.).

11. Yurgenson G.A., Shukshin V.V. [New data on occurrence forms of zinc and cadmium in soils and technosols of the natural and technogenic landscape of the Sherlovogorsk geochemical anomaly]. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Ratsionalnoye prirodopolzovaniye. Sovremennoye mineraloobrazovaniye. Trudy V Vseros. simp. s mezhdunarodnym uchastiem i XII Vseros. chteniy pamyati akademika Fersmana* [Mineralogy and Geochemistry of landscape of ore mining territories. Present-day mineral formation. Proceedings of the 5th All-Russia Symposium and 12th All-Russia. Lectures in memory of academician A. E. Fersman]. Chita, Poisk Publ., 2014, pp. 97–100. (In Russ.).

12. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. London, New York, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2011. 505 p.

13. Whalley C., Grant A. Assessment of the phase selectivity of the European Community Bureau of Reference (BCR) sequential extraction procedure for metals in sediment. *Analytica Chimica Acta*, 1994, vol. 61, pp. 2211–2221.

© Б. В. Дампилова, С. Г. Дорошкевич, 2022