



**GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS
BACKGROUND CONTENTS IN SOILS IN THE AREA OF THE SARALA GOLD ORE CLUSTER
(THE REPUBLIC OF KHAKASSIA, RUSSIA)**

I.N. Myagkaya  , **I.S. Kirichenko** , **B.Yu. Saryg-ool** , **M.A. Gustaitis** 

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

ABSTRACT: We assessed the contents of Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cr, Pb, Hg in soils of the residential settlements and surrounding areas exposed to anthropogenic load due to mining activities. The study object is located in the Kuznetsk Alatau (part of the Sarala gold ore cluster – SGOC), the village of Priiskovy and its tailings dump, the village of Ordzhonikidzevsky, the Republic of Khakassia). The background contents in the SGOC soils are the following: Fe 3.08–5.06 %, Ni 24.74–45.13 g/t, Cu 22.33–38.81 g/t, Zn 86.72–200 g/t, As 5.45–11.25 g/t, Cr 35.60–73.25 g/t, Pb 14.12–26.17 g/t, Hg 0.01–0.14 g/t. It was found that the background area has increased the natural contents of the studied elements. The soils sampled from the territory of the tailing dump are distinguished by the elevated element contents relative to the background values and especially by a sharp jump of the As and Zn contents (abnormal contents). The contents of all the elements examined in the soils of the territories in the vicinity of the tailing dump also exceed the background values of the SGOC with different proportions of cases and have the increased As, Cr, and Pb contents relative to the maximum permissible concentration of soils. Clustering of the data shows the presence of two clusters, which indicate the availability of the background and anomalous values associated with the technogenic impact of the mining industry in the study area of the Sarala gold ore cluster.

KEYWORDS: technogenic dispersion halo; background contents; anomalous value; potentially toxic element; soil; geochemistry

FUNDING: The fieldwork and fieldwork-based geochemical research works were performed as a part of the state assignment of the Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS on the base of the Core Facilities "Multi-Elemental and Isotope Research" IGM SB RAS. The element contents in the soils were determined using the equipment of the Shared Research Facilities "SSTRC" based on the Large-Scale Research Facilities "Novosibirsk FEL" at the Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS. The analysis of the Hg content in the soils was carried out with the support of the RSF (grant 18-77-10056).

SHORT COMMUNICATION

Received: December 6, 2021

Revised: January 9, 2022

Accepted: January 20, 2022

Correspondence: Irina N. Myagkaya, i_myagkaya@igm.nsc.ru

FOR CITATION: Myagkaya I.N., Kirichenko I.S., Saryg-ool B.Yu., Gustaitis M.A., 2022. Geochemical Assessment of the Potentially Toxic Elements Background Contents in Soils in the Area of the Sarala Gold Ore Cluster (the Republic of Khakassia, Russia). *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2s), 0596. doi:10.5800/GT-2022-13-2s-0596

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОНОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ В РАЙОНЕ САРАЛИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ, РОССИЯ)

И.Н. Мягкая, И.С. Кириченко, Б.Ю. Сарыг-оол, М.А. Густайтис

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

АННОТАЦИЯ. Проведена оценка содержаний Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cr, Pb, Hg в почвах жилых поселков и окружающих территорий, подверженных техногенной нагрузке за счет горно-добывающей деятельности. Объект расположен на территории Кузнецкого Алатау (часть Саралинского золоторудного узла (СЗУ), пос. Приисковый и хвостохранилища пос. Орджоникидзевский, Республика Хакасия). Фоновые содержания в почвах СЗУ составляют: Fe 3.08–5.06 %, Ni 24.74–45.13 г/т, Cu 22.33–38.81 г/т, Zn 86.72–200 г/т, As 5.45–11.25 г/т, Cr 35.60–73.25 г/т, Pb 14.12–26.17 г/т, Hg 0.01–0.14 г/т. Зафиксировано, что фоновый участок имеет повышенные природные содержания исследуемых элементов. Почвы на территории хвостохранилища выделяются повышенными содержаниями элементов относительно фоновых значений и особенно резким скачком содержаний As и Zn (аномальные содержания). Содержания элементов в почвах территорий вблизи хвостохранилища также превышают фоновые значения СЗУ с разной долей случаев и имеют повышенные содержания As, Cr и Pb относительно предельно допустимых концентраций почв. Кластеризация данных показывает наличие двух кластеров, отражающих присутствие фоновых и аномальных значений, связанных с техногенным влиянием горно-добывающей промышленности на изученном участке Саралинского золоторудного узла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: техногенный ореол рассеяния; фоновое содержание; аномальное содержание; потенциально токсичный элемент; почва; геохимия

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Экспедиционные и геохимические работы частично выполнены в рамках государственного задания Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН на базе ЦКП «Многоэлементные и изотопные исследования» ИГМ СО РАН. Определение содержаний элементов в почвах выполнено с использованием оборудования ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ «Новосибирский ЛСЭ» в ИЯФ СО РАН. Анализ содержаний Hg в почвах выполнен при поддержке РНФ (грант № 18-77-10056).

1. ВВЕДЕНИЕ

Почвы являются важным компонентом окружающей среды, их качество влияет на безопасность источников пищи для людей. Загрязнение почв является глобальной проблемой [Khan et al., 2021]. Основным фактором, приводящим к загрязнению почв, – антропогенное влияние современной активной деятельности человека (туризм, агрикультура, урбанизация и индустриализация) [Radomskaya, Borodina, 2019; Memoli et al., 2019; Adimalla et al., 2020; Verma et al., 2021]. Горно-добывающая деятельность вносит особый вклад в загрязнение почвенного покрова [Opekunova et al., 2017; Kusun et al., 2019]. В разных районах мира и сейчас фиксируются производства кустарной (непромышленной) переработки золоторудного вещества [Teixeira et al., 2021], которые используют «древние» методы обогащения руд (амальгамация, цианирование), являясь источником Hg и других потенциально токсичных элементов (ПТЭ).

Оценка геохимического фона территорий и выявление аномальных содержаний элементов – важные задачи геохимии и геоэкологии. В их основе лежат статистические методы анализа, например статистические тесты $\pm 3\sigma$ и $\pm 2\sigma$ [Savichev, Luyen, 2015; Tepanosyan et al., 2017]. Сложность взаимодействия различных

геохимических процессов, а также их многообразие затрудняют выявление закономерностей в распределении элементов. Для решения этой проблемы и сопоставления результатов геохимических исследований применяются такие статистические методы, как кластерный, факторный анализ, метод главных компонент. Кластерный анализ позволяет выделить из множества элементов группы, объединенные наивысшими значениями парных коэффициентов корреляции Пирсона [Mikhalechuk, Yazikov, 2014]. Кластерный анализ успешно применяется для выделения геохимических аномалий из фона, изучения геохимических характеристик месторождений и других задач [Ji et al., 1995]. Цель – изучить распределение Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cr, Pb, Hg в почвах ореола рассеяния отходов обогащения и выявить фоновые содержания этих элементов на участке Саралинского золоторудного узла.

2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – часть Саралинского золоторудного узла (СЗУ), расположенного на территории Кузнецкого Алатау (Орджоникидзевский район, пос. Приисковый и пос. Орджоникидзевский, Республика Хакасия). Район исследований (территория Саралинского месторождения) с 1834 г. являлся горно-промышленным

(добыча Au). Промплощадка ЗАО «Саралинский рудник» находится вблизи пос. Приисковый. В этом районе расположены более мелкие рудники. Первоначально добыча Au производилась из россыпей и руд путем амальгамации. Позже обогащение руд на золотоизвлекательной фабрике (ЗИФ) производилось при помощи гравиконцентрации и флотационной концентрации с переработкой гравиконцентратов амальгамацией, а затем – цианированием [Shirokikh et al., 1998; Construction..., 2014]. За продолжительный период отработки месторождений СЗУ накоплен значительный объем продуктов переработки рудной массы. Саралинское хвостохранилище отходов золотосульфидных руд располагается в непосредственной близости от пос. Приисковый, близлежащие территории (пос. Орджоникидзевский) подвержены антропогенному влиянию горно-добывающей промышленности.

3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспедиционные работы. Картирование проводилось детально в пределах жилых поселков (по сетке в 1 км), менее детально – за пределами активного пребывания людей (фоновые территории, по сетке 10 км). На территории СЗУ (октябрь 2018 г. и июнь 2019 г.) опробованы четыре площадки – район пос. Орджоникидзевский, вокруг пос. Приисковый, собственно пос. Приисковый, а также район хвостохранилища в пос. Приисковый (рис. 1). В каждой точке опробовался верхний слой почвы (5 см).

Аналитические работы. Содержания элементов получены методом рентгенофлуоресцентного анализа с синхротронным излучением на спектрометре ВЭПП-3, согласно методике [Piminov et al., 2016]. Стандартный образец сравнения – байкальский ил (БИЛ-1). Получены следующие значения пределов обнаружения для определяемых элементов (в г/т): Fe – 5, Ni – 2.4, Cu – 1.6, Zn – 1, As – 1.2, Cr – 7.3, Pb – 0.8. Содержания Hg определяли методом беспламенной атомной абсорбции, используя анализатор «РА-915М» с пироприставкой «РП-91С» по методике «М 03-09-2013» [Quantitative chemical analysis..., 2013]. Предел обнаружения для Hg составил 0.01 г/т. Погрешность измерения составила не более 20 %. Стандартный образец сравнения – дерново-подзолистая почва (СДПС-3).

Статистическая обработка данных. Рассчитаны средние, медианные, минимальные и максимальные значения концентраций элементов. Фоновые значения концентраций вычислены на основании доверительного интервала 99 % ($\pm 3\sigma$) по методике [Tepanosyan et al., 2017]. Количество проб, используемых в расчетах, указано в Прил. 1, табл. 1. Кластерный анализ проведен с использованием программного обеспечения Statistica согласно [Templ et al., 2008]. Применен подход, в котором разбиение исходных данных проводится на такое количество групп, члены которых максимально схожи друг с другом, а сами кластеры максимально отличаются друг от друга. Перед кластеризацией проведено устранение и учет неоднородностей, свойственных

геохимическим данным, таких как содержания элементов, варьируемых в широких пределах (от % до долей г/т, включая значения ниже предела обнаружения). Все данные перед кластеризацией стандартизировались.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для образцов почв, отобранных на фоновом участке (район пос. Орджоникидзевский), средние и медианные значения содержаний, а также 3σ указаны в Прил. 1, табл. 1; расчеты проведены по выборке из 13 точек (рис. 1). Фоновое содержание ПТЭ в почве исследуемого участка СЗУ представляет собой значение среднего содержания ПТЭ $\pm 3\sigma$, и для элементов установлены следующие вариации: Fe 3.08–5.06 %, Ni 24.74–45.13 г/т, Cu 22.33–38.81 г/т, Zn 86.72–200 г/т, As 5.45–11.25 г/т, Cr 35.60–73.25 г/т, Pb 14.12–26.17 г/т, Hg 0.01–0.14 г/т. Доля природных повышенных содержаний элементов варьируется от 7.7 до 23.1 %. Наибольшая доля природных повышенных содержаний ПТЭ (>20 %) отмечается для Fe, Zn и Hg, средняя доля (10–15 %) – для Cu Pb; наименьшая доля (7.7–8.3 %) – для Ni, As, Cr. Установленные нами фоновые значения формируют диапазон, в который попадают значения местного фона СЗУ (Прил. 1, табл. 1), указанного в работе [Construction..., 2014], за исключением Cu и As. Для них, как мы установили, характерны более низкие значения. Верхняя граница диапазона фоновых содержаний Fe, Ni, Cu, Zn и As в почвах СЗУ превышает среднее значение в верхней континентальной коре (UCC) [Taylor, McLennan, 1995; Rudnick, Gao, 2003] и кларк в почвах [Ivanov, 1996a, 1996b, 1997]; Cr, Pb и Hg превышают только UCC (Прил. 1, табл. 1). Участок удален от разработанного месторождения и хвостохранилища пос. Приисковый, тем не менее фиксируются случаи кустарного производства Au, что приводит к повышению содержаний некоторых элементов, в том числе Hg, относительно UCC. Фоновые содержания As и Cr в некоторых пробах превышают ПДК почв (Прил. 1, табл. 1).

Территория хвостохранилища выделяется повышенными средними содержаниями изучаемых элементов в почвах, за исключением Fe и Ni. Особенно резко увеличиваются содержания Zn и As (Прил. 1, табл. 1). Доля превышений содержаний элементов относительно их фоновых значений составила (в %): для Fe – 26, Ni – 16, Cu – 74, Zn – 77, As – 100, Cr – 58, Pb – 84, Hg – 35.5 (из всей выборки). Отходы ЗИФ, по данным [Construction..., 2014], содержат в своем составе пирит, магнетит, галенит, гидроксиды железа, гематит, металлическую ртуть. Также в составе руд СЗУ зафиксированы такие минералы, как сфалерит, пирротин и арсенопирит [Shirokikh et al., 1998]. Разнообразие рудных минералов в отходах и рудах определяет повышенные содержания соответствующих элементов. Средние содержания Zn, As, Cr превышают верхнюю границу ПДК почв в 2.3, 70.2 и 1555 раз соответственно.

В почвах в пос. Приисковый, расположенном в непосредственной близости от хвостохранилища, содержания элементов также превышают фоновые значения

СЗУ (в % случаев): для Fe – 62.5, Ni – 44, Cu – 94, Zn – 25, As – 93, Cr – 50, Pb – 75, Hg – 62.5. Зафиксированы превышения ПДК почв для средних содержаний As, Cr и Pb в 7.3, 1552 и 1.4 раза соответственно.

В почвах территории за пос. Приисковый превышения фоновых значений исследуемого участка СЗУ

составляют, так же как и в самом поселке, достаточно высокий процент случаев: для Fe – 73.7, Ni – 21, Cu – 95, Zn – 10.5, As – 84, Cr – 68, Pb – 77, Hg – 47.4. С удалением от техногенного источника содержания Hg, Zn и As в почвах постепенно снижаются. Для As и Cr фиксируются превышения ПДК в 7.6 и 1620 раз соответственно.

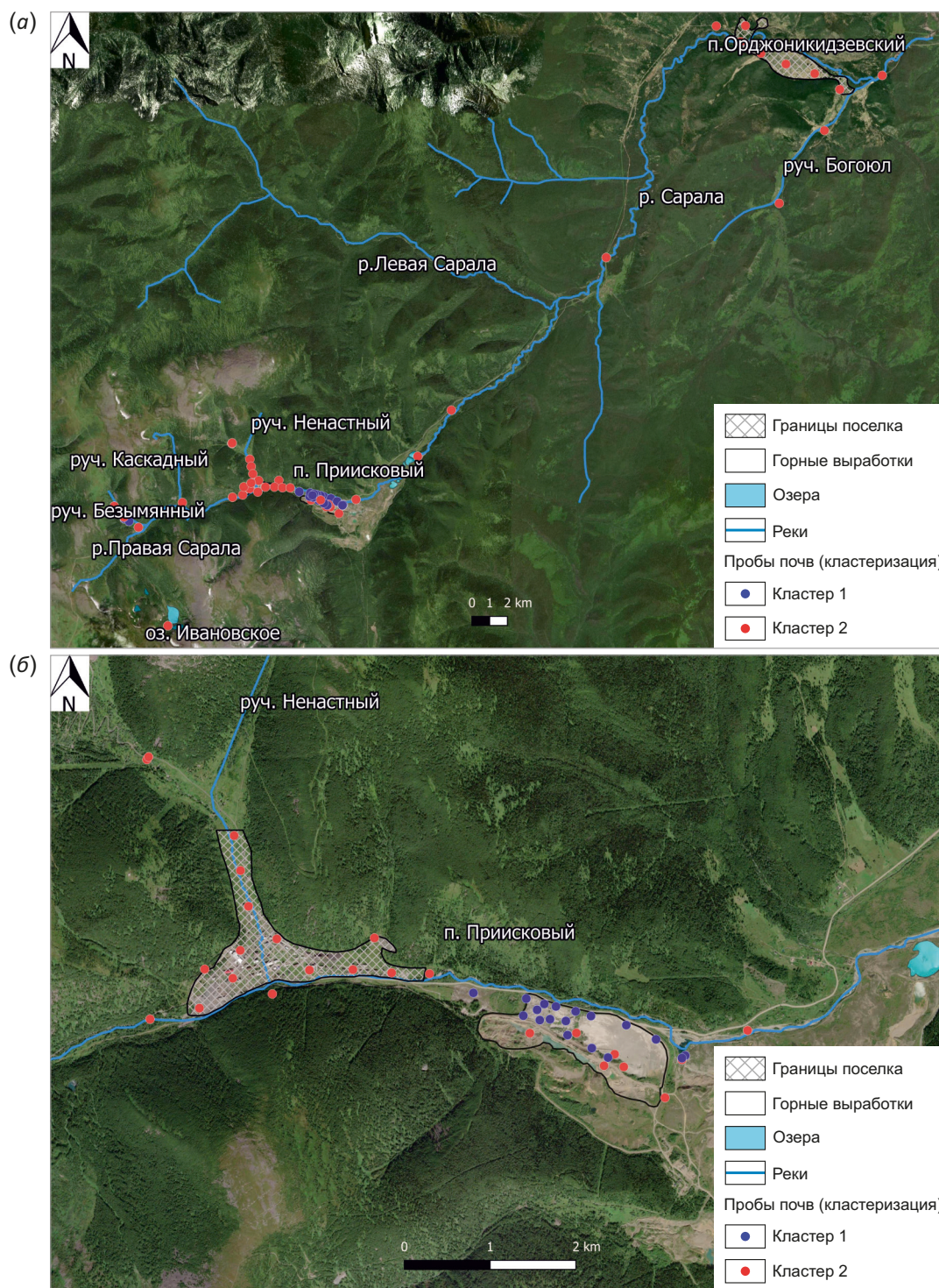


Рис. 1. Схема отбора почв и кластеризация данных на территории СЗУ: (а) – общий вид; (б) – увеличенный участок в районе пос. Приисковый.

Fig. 1. Scheme of the soil sampling and clustering of the data from the territory of the SGOC: (a) – general view; (b) – enlarged plot in the area of Priiskovy.

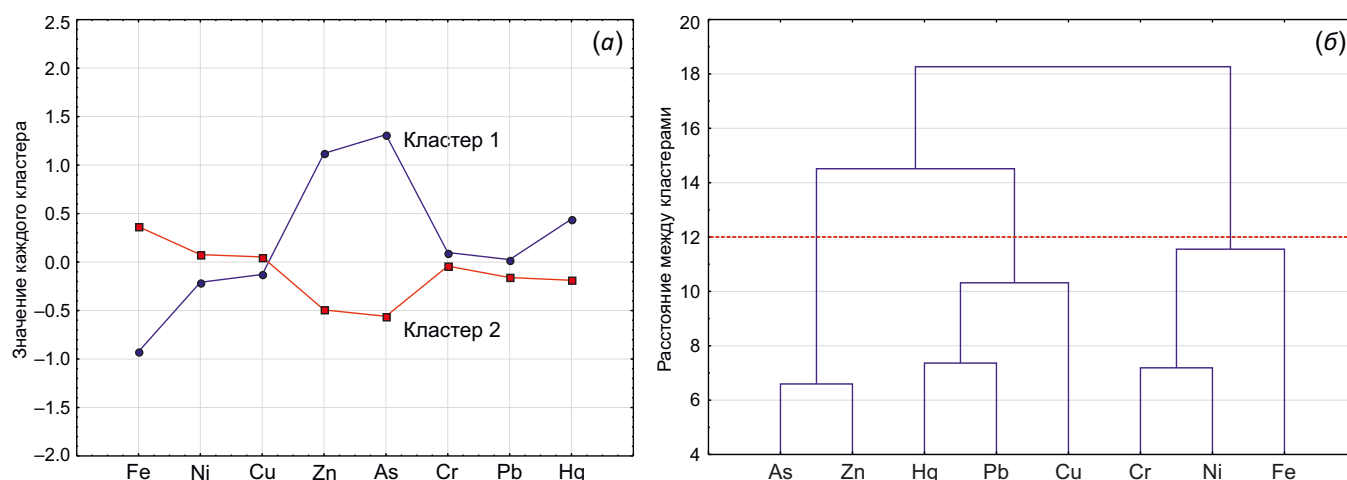


Рис. 2. Средние стандартизированные содержания элементов для каждого кластера (а). Прямоугольная дендрограмма для почв СЗУ по методу Уорда; в качестве меры сходства использована евклидова метрика (б).

Fig. 2. The average standardized contents of the elements determined for each cluster (a), and a rectangular dendrogram for the SGOC soils obtained by using the Ward's method, the Euclidean distance was used as a measure of similarity (b).

Значение ПДК для Cr в почвах соответствует 0.05 г/т для Cr⁶⁺ (Прил. 1, табл. 1). Повышенные содержания Cr в почвах могут быть связаны со спецификой вмещающих пород района. Для разных типов компонент СЗУ существует упоминание об обогащении хромом вещества донных осадков и углеродистых пород. Мышьк также относят к элементам, определяющим геохимический профиль СЗУ [Shirokikh et al., 1998].

В результате кластеризации данных выявлены закономерности в пространственном распределении ПТЭ в пробах площадной съемки (рис. 1) и выделены два кластера с различными содержаниями ПТЭ (рис. 2). Кластер 1 выделяется высокими содержаниями Zn, As, Cr, Hg и низкими – Fe, Ni, Cu, отражая роль техногенного влияния на почвы. Свинец в данном кластере имеет более высокие значения, чем Fe, Ni, Cu (рис. 2). Кластер 2 выделяется низкими значениями Zn, As, Cr, Pb, Hg и повышенными – Fe, Ni, Cu и может считаться «фоновым».

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В почвах участка Саралинского золоторудного узла установлены следующие фоновые содержания: Fe 3.08–5.06 %, Ni 24.74–45.13 г/т, Cu 22.33–38.81 г/т, Zn 86.72–200 г/т, As 5.45–11.25 г/т, Cr 35.60–73.25 г/т, Pb 14.12–26.17 г/т, Hg 0.01–0.14 г/т. Превышение природных содержаний в большей степени характерно для Fe, Zn и Hg, в средней – для Cu, Pb и в наименьшей – для Ni, As, Cr. Почвы на территории хвостохранилища выделяются повышенными содержаниями исследуемых элементов относительно их фоновых значений и особенно резким скачком содержаний As и Zn. Содержания элементов в почвах территорий вблизи хвостохранилища также превышают фоновые значения СЗУ с разной долей случаев и имеют повышенные содержания As, Cr и Pb относительно ПДК почв. Кластеризация данных показала наличие двух кластеров, отражающих

присутствие фоновых и аномальных значений, связанных с техногенным влиянием горно-добывающей деятельности на исследуемом участке СЗУ.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Ю.П. Колмогорову за определение содержания элементов в почвах с использованием оборудования ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ «Новосибирский ЛСЭ» в ИЯФ СО РАН.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

8. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Adimalla N., Qian H., Nandan M.J., Hursthouse A.S., 2020. Potentially Toxic Elements (PTEs) Pollution in Surface Soils in a Typical Urban Region of South India: An Application of Health Risk Assessment and Distribution Pattern. *Eco-toxicology and Environmental Safety* 203, 111055. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111055>.

Construction, Reconstruction and Overhaul of Facilities of the Saralinskaya ZIF. Project Documentation, 2014. Report on Engineering and Environmental Surveys. Krasnoyarsk, 141 p. (in Russian) [Строительство, реконструкция и капитальный ремонт объектов Саралинской ЗИФ: Отчет

об инженерно-экологических изысканиях. Красноярск, 2014. 141 с.].

Ivanov V.V., 1996a. Ecological Geochemistry of Elements. Guidebook. Book 3. Rare p-Elements. Nedra, Moscow, 352 p. (in Russian) [Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Кн. 3. Редкие p-элементы. М.: Недра, 1996. 352 с.].

Ivanov V.V., 1996b. Ecological Geochemistry of Elements. Guidebook. Book 4. Main d-Elements. Moscow, Ecology, 416 p. (in Russian) [Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Кн. 4. Главные d-элементы. М.: Экология, 1996. 416 с.].

Ivanov V.V., 1997. Ecological Geochemistry of Elements. Guidebook. Book 5. Rare d-Elements. Moscow, Ecology, 756 p. (in Russian) [Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Кн. 5. Редкие d-элементы. М.: Экология, 1997. 756 с.].

Ji H., Zhu Y., Wu X., 1995. Correspondence Cluster Analysis and Its Application in Exploration Geochemistry. Journal of Geochemical Exploration 55 (1–3), 137–144. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(95\)00025-9](https://doi.org/10.1016/0375-6742(95)00025-9).

Khan S., Naushad M., Lima E.C., Zhang S., Shaheen S.M., Rinklebe J., 2021. Global Soil Pollution by Toxic Elements: Current Status and Future Perspectives on the Risk Assessment and Remediation Strategies – A Review. Journal of Hazardous Materials 417, 126039. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126039>.

Kusin F.M., Awang N.H.C., Hasan S.N.M.S., Rahim H.A.A., Azmin N., Jusop S., Kim K.W., 2019. Geo-Ecological Evaluation of Mineral, Major and Trace Elemental Composition in Waste Rocks, Soils and Sediments of a Gold Mining Area and Potential Associated Risks. Catena 183, 104229. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104229>.

Memoli V., Esposito F., Panico S.C., De Marco A., Barile R., Maisto G., 2019. Evaluation of Tourism Impact on Soil Metal Accumulation through Single and Integrated Indices. Science of the Total Environment 682, 685–691. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.211>.

Mikhailchuk A.A., Yazikov E.G., 2014. Multidimensional Statistical Analysis of Ecological and Geochemical Measurements. Part I. Mathematical Foundations. Textbook. Publishing House of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 102 p. (in Russian) [Михальчук А.А., Язиков Е.Г. Многомерный статистический анализ эколого-геохимических измерений. Часть I. Математические основы: Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 102 с.].

Opekunova M.G., Somov V.V., Papryan E.E., 2017. Soil Contamination in the Impact Zone of Mining Enterprises in the Bashkir Transural Region. Eurasian Soil Science 50, 732–745. <https://doi.org/10.1134/S1064229317060084>.

Piminov P.A., Baranov G.N., Vogomyagkov A.V., Berkaev D.E., Borin V.M., Dorokhov V.L., Karnaev S.E., Kiselev V.A. et al., 2016. Synchrotron Radiation Research and Application at VEPP-4. Physics Procedia 84, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.11.005>.

Quantitative Chemical Analysis of Soils, 2013. Methods for Measuring the Mass Fraction of Total Mercury in Soil

Samples, Grounds, Including Greenhouse Grounds, Clays and Bottom Sediments by the Atomic Absorption Method Using a Mercury Analyzer RA-915M. ERD F 16.1:2:2.2.80-2013. Moscow, 20 p. (in Russian) [Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли общей ртути в пробах почв, грунтов, в том числе тепличных грунтов, глин и донных отложений атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915М: ПНД Ф 16.1:2:2.2.80-2013. М., 2013. 20 с.].

Radomskaaya V.I., Borodina N.A., 2019. Assessment of Anthropogenic Contamination in an Urban Territory by the Example of Blagoveshchensk City. Geocology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology 6, 79–93 (in Russian) [Радомская В.И., Бородина Н.А. Оценка антропогенного загрязнения почвы урбанизированной территории на примере города Благовещенска. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 6. 79–93]. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019679-93>.

Rudnick R.L., Gao S., 2003. 3.01 – Composition of the Continental Crust. Treatise on Geochemistry 3, 1–64. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4>.

Sanitary Rules and Norms 1.2.3685-21, 2021a. Hygienic Standards and Requirements for Ensuring the Safety and (or) Harmlessness of Environmental Factors for Humans. Moscow, 975 p. (in Russian) [СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021. 975 с.].

Sanitary Rules and Norms 2.1.3684-21, 2021b. Sanitary and Epidemiological Requirements for the Maintenance of the Territories of Urban and Rural Settlements, for Water Bodies, Drinking Water and Drinking Water Supply of the Population, Atmospheric Air, Soils, Residential Premises, Operation of Industrial, Public Premises, Organization and Implementation of Sanitary and Anti-Epidemic (Preventive) Measures. Moscow, 75 p. (in Russian) [СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. М., 2021. 75 с.].

Savichev O.G., Luyen N.V., 2015. The Technique of Determining Background and Extreme Values of Hydrogeochemical Parameters. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering 326 (9), 133–142 (in Russian) [Савичев О.Г., Луен Н.В. О методике определения фоновых и аномальных значений гидрогеохимических показателей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 9. С. 133–142].

Shirokikh I.N., Roslyakov N.A., Sotnikov A.I., Vaskov A.S., 1998. Saralinsky Gold Ore Cluster of Kuznetsk Alatau. Publishing House of SPC UIGGM SB RAS, Novosibirsk, 234 p. (in

Russian) [Широких И.Н., Росляков Н.А., Сотников А.И., Васьков А.С. Саралинский золоторудный узел Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Изд-во НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1998. 234 с.].

Taylor S.R., McLennan S.M., 1995. The Geochemical Evolution of the Continental Crust. *Reviews of Geophysics* 33 (2), 241–265.

Teixeira R.A., da Silveira Pereira W.V., de Souza E.S., Ramos S.J., Dias Y.N., de Lima M.W., Souza Neto H.F., de Oliveira E.S., Fernandes A.R., 2021. Artisanal Gold Mining in the Eastern Amazon: Environmental and Human Health Risks of Mercury from Different Mining Methods. *Chemosphere* 284, 131220. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131220>.

Templ M., Filzmoser P., Reimann C., 2008. Cluster Analysis Applied to Regional Geochemical Data: Problems and Possibilities. *Applied Geochemistry* 23 (8), 2198–2213. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.03.004>.

Tepanosyan G.O., Belyaeva O.A., Saakyan L.V., Sagatelyan A.K., 2017. Integrated Approach to Determine Background Concentrations of Chemical Elements in Soils. *Geochemistry International* 55, 581–588. <https://doi.org/10.1134/S0016702917060106>.

Verma F., Singh S., Dhaliwal S.S., Kumar V., Kumar R., Singh J., Parkash C., 2021. Appraisal of Pollution of Potentially Toxic Elements in Different Soils Collected around the Industrial Area. *Heliyon* 7 (10), e08122. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08122>.

Таблица 1. Содержание элементов (среднее/медиана $\pm 3\sigma$ (99 %) / минимум – максимум (количество)) в почвах СЗУ

Table 1. Element contents (average/median $\pm 3\sigma$ (99 %) / minimum – maximum (quantity)) in the SGOC soils

Участок	Почвы, г/т							
	Fe, %	Ni	Cu	Zn	As	Cr	Pb	Hg
Фоновая территория (район пос. Орджоникидзевский)	<u>4.1/4.1±1.0</u> 1.62–6.13 (13)	<u>34.9/31.8±10.2</u> 19.4–76 (13)	<u>30.6/28.7±8.2</u> 17.7–54.6 (13)	<u>143.3/117±56.6</u> 61–306 (13)	<u>8.4/8.5±2.9</u> 2.4–17.8 (12)	<u>54.4/57±18.8</u> 17.4–124 (13)	<u>20.1/18.4±6</u> 6.1–37.8 (13)	<u>0.08/0.03±0.07</u> 0.01–0.34 (13)
Хвостохранилище в пос. Приисковский	<u>4/3.1±0.8</u> 2–8 (31)	<u>38.1/37.7±5.2</u> 9.6–71 (31)	<u>70.8/47.4±26.2</u> 25.3–251 (31)	<u>503.6/523±154.2</u> 77–1562 (31)	<u>701.5/682±235.5</u> 13.1–1882 (30)	<u>77.7/76±9</u> 41.2–115 (31)	<u>70.3/50±37.5</u> 10.9–436 (31)	<u>1.3/0.08±1.7</u> 0.01–13.80 (31)
Территория в пос. Приисковский (на удалении от хвостохранилища)	<u>5.14/5.5±0.7</u> 3.14–6.9 (16)	<u>56.2/39.5±26.9</u> 23–177 (16)	<u>74.8/70.5±18.4</u> 38.7–141 (16)	<u>215.8/143.5±117.8</u> 73–764 (16)	<u>72.8/48.5±44</u> 5.8–260 (15)	<u>76.6/71±26</u> 32.2–199 (16)	<u>183.5/42.4±300</u> 14.2–1907 (16)	<u>0.5/0.23±0.58</u> 0.01–3.60 (16)
Территории за пос. Приисковский	<u>5.9/6.1±0.7</u> 3.73–8.6 (19)	<u>41/38.6±8.7</u> 24.2–80 (19)	<u>112/59±110.3</u> 38.7–874 (19)	<u>197.4/114±197</u> 68–1566 (19)	<u>76.4/39.5±49.4</u> 2.7–285 (18)	<u>81/84±12.2</u> 48.2–132 (19)	<u>41/31±16.9</u> 15.8–117 (19)	<u>0.7/0.1±0.76</u> 0.02–4.40 (19)
Литературные данные								
Местный фон СЗУ [Construction..., 2014]	–	32.2	40.6	97.2	33.2	–	17.1	0.07
UCC	3.5 [Taylor, McLennan, 1995]	20 [Taylor, McLennan, 1995]	25 [Taylor, McLennan, 1995]	71 [Taylor, McLennan, 1995]	1.5 [Taylor, McLennan, 1995]	35 [Taylor, McLennan, 1995]	20 [Taylor, McLennan, 1995]	0.05 [Rudnick, Gao, 2003]
Кларк в почвах	3.8 [Ivanov, 1996b]	20 [Ivanov, 1996b]	23.9 [Ivanov, 1996b]	90; 50; 56 [Ivanov, 1996b]	5 [Ivanov, 1996a]	300; 200; 70; 90; 65 [Ivanov, 1996b]	10; 35; 25; 40 [Ivanov, 1996a]	0.12; 0.06; 0.2; 0.1 [Ivanov, 1997]
ПДК/ОДК в почвах (валовые)	–	20–80 [Sanitary Rules..., 2021b]	33–132 [Sanitary Rules..., 2021b]	55–220 [Sanitary Rules..., 2021b]	2–10 [Ivanov, 1996a]	0.05 (Cr ⁶⁺) [Sanitary Rules..., 2021a]	2–130 [Ivanov, 1996a]	2.1 [Sanitary Rules..., 2021b]

Примечание. СЗУ – Саралинский золоторудный узел; UCC – верхняя континентальная кора.

Note. СЗУ – Sarala gold ore cluster (SGOC); UCC – upper continental crust.