

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE DESIGN OF MINING SYSTEMS

Научная статья

УДК 622.268:504.06

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-85-94

ОБ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МЕРОПРИЯТИЙ, ЛОКАЛИЗУЮЩИХ МИГРАЦИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В
ПОЧВАХ И ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТАХ

Корнилков Сергей Викторович, Антонинова Наталья Юрьевна,
Собенин Артем Вячеславович, Усманова Вероника Алексеевна *,
Усманов Альберт Исмагилович

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

*для корреспонденции: vnika196@mail.ru

Аннотация.

В статье рассмотрены особенности накопления и распределения микроэлементов в растениях иван-чая узколистного, произрастающих на территории законсервированного медноколчеданного месторождения, для обоснования возможности его использования в комплексе мероприятий, направленных на локализацию миграции тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах при проектировании горнотехнических систем. Актуальность определяется необходимостью разработки и внедрения мероприятий по формированию биогеохимических барьеров в целях совершенствования организации производственных процессов при отработке месторождений полезных ископаемых с учетом экологической безопасности. Методы исследования заключаются в анализе состояния земельных, водных, биологических растительных ресурсов на объектах размещения вскрышных и вмещающих пород на этапе консервации медноколчеданного месторождения. В результате проведенных исследований обнаружено, что для всех изученных образцов растений характерен барьерный тип накопления микроэлементов, за исключением элемента Fe. Анализ содержания меди, цинка и железа в корнях иван-чая узколистного показывает превышение концентрации этих элементов по сравнению с фоновым участком в 5.6 раз, в 7.7 раз, в 2.1 раза соответственно. Отмечается, что превышение концентрации химических элементов также наблюдается в наземной части растений: в 5.3 раза для меди, 3.8 раза для цинка и в 2 раза для железа.

Эти результаты свидетельствуют о необходимости учета ККБ и КН при разработке методики проектирования мероприятий, локализирующих миграцию тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах путем формирования биогеохимических барьеров, и могут быть полезны проектировщикам и недропользователям при разработке раздела проектной документации по охране окружающей среды, в том числе и на этапе рекультивации нарушенных земель.



Информация о статье

Поступила:

06 августа 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 ноября 2024 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2024 г.

Опубликована:

05 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

горнотехническая система,
тяжелые металлы, сточные
воды, биогеохимические
барьеры, отходы
производства.

Для цитирования: Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., Собенин А.В., Усманова В.А., Усманов А.И. Об основных положениях методики проектирования мероприятий локализирующих миграцию тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 6 (166). С. 85-94. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-85-94, EDN: LUMHKA

Благодарность

Статья подготовлена в рамках Госзадания №075-00412-22 ПР. Тема 2 (2022-2024) Разработка геоинформационных технологий оценки защищенности горнопромышленных территорий и прогноза развития негативных процессов в недропользовании (FUWE-2022-0002), рег. №1021062010532-7-1.5.1.

Введение

Необходимость развития методологии комплексного освоения запасов, разработки инновационных технологий горного производства обусловлена увеличивающимися потребностями в минеральном сырье с одновременным снижением среднего содержания полезных компонентов. [1]. Отработка месторождений влечет за собой образование крупнотоннажных отходов недропользования и, как следствие, необходимость изъятия земельных ресурсов и рост техногенной нагрузки в районе функционирования горнотехнических систем, так как отвалы вскрышных и вмещающих пород, забалансовых руд оказывают наибольшее негативное воздействие на окружающую среду [2, 3].

Горнотехнические системы – это совокупность горных конструкций и технологических подсистем во взаимодействии с вмещающими их участками недр, частью которых являются объекты размещения отходов (отвалы вскрышных, вмещающих пород), склады

отходов производства и потребления. Из них 560 объектов были действующими или выведенными из эксплуатации, в то время как 6 являются временно не эксплуатируемыми. Из общего числа 339 – это объекты размещения промышленных и сельскохозяйственных отходов, а 39 считаются бесхозными, из которых 33 – это промышленные отходы, суммарно занимающие площадь в 356.2 гектара и объемом 104833.6 тысячи тонн. Следовательно, указанная подсистема требует особого внимания на всех этапах функционирования предприятия, как в плане вовлечения в дальнейший хозяйственный оборот размещенных отходов, так и в плане консервации, реабилитации в целях предотвращения негативного [5].

Кроме того, деятельность по добыче полезных ископаемых также сопряжена с образованием сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, что значительно увеличивает риск загрязнения водных объектов без внедрения эффективных природоохранных мероприятий [6].

Тяжелые металлы – это группа химических



Рис. 1. Месторождение «Кабан-1»
Fig. 1. Kaban-1 deposit

некондиционного п. и. [4].

На конец 2022 года согласно докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году»¹ на территории Свердловской области было зарегистрировано 566 объектов размещения

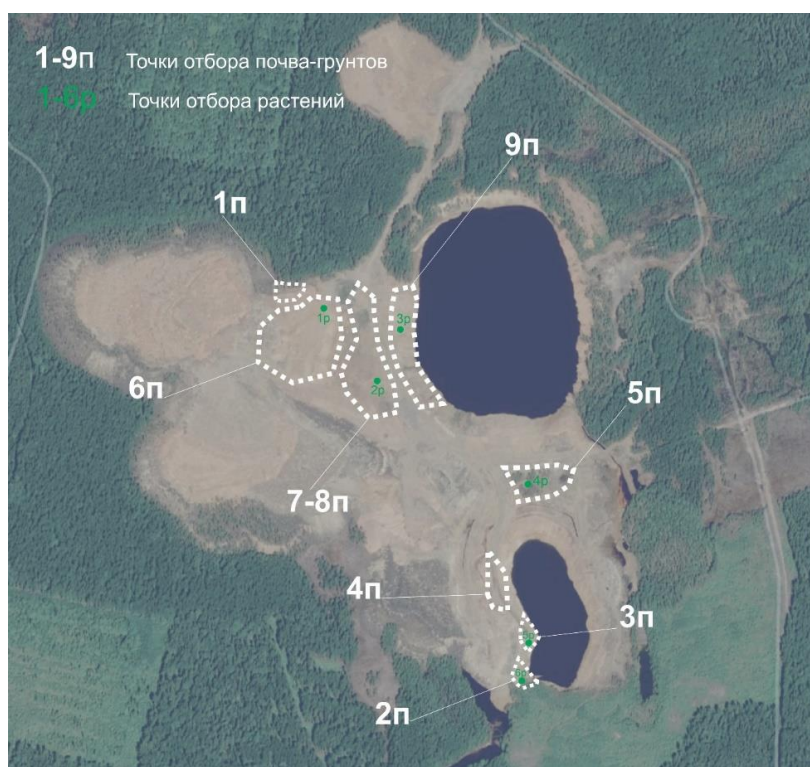
элементов, которые известны своей высокой токсичностью для всех форм жизни. Такие металлы, как медь, цинк, кадмий могут накапливаться в почве, воде и воздухе в результате промышленной деятельности. Они обладают способностью поступать в окружающую среду и далее в организмы человека и животных через пищевые цепи, представляя серьезную опасность для их жизнедеятельности [7, 8]. Потребление продуктов, загрязненных тяжелыми металлами,

¹ 4. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2023. – 686 с.



Рис. 2. Месторождение «Кабан-1»

Fig. 2. Kaban-1 deposit

Рис. 3. Точки отбора особей растений иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.))Fig. 3. Points of selection of individuals of plants willow-leaved tea (*Chamaenerion angustifolium* (L.))

может вызвать серьезные проблемы со здоровьем у людей и животных, включая отравление, нарушения функций органов и систем, а также различные заболевания [9-12]. Изучение миграции ТМ в системе грунт/растение в зависимости от их концентрации и при конкретных условиях произрастания позволяет решать разнообразные задачи и оптимизировать процессы, связанные с экологической реабилитацией горнотехнических систем.

Таким образом, проектирование и внедрение комплекса мероприятий, направленных на локализацию миграции тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах путем формирования биогеохимических барьеров с целью как их иммобилизации, так и

фитоэкстракции, а также проведение исследований, посвященных изучению влияния тяжелых металлов на рост и развитие растений, достаточно актуально.

Методика и объект исследований

Объект исследований

В связи с вышеизложенным объектом исследований является месторождение Кабан-1 – отработанное медноколчеданное месторождение, которое находится в пределах Арбатского участка недр на территории Верхнетуринского городского округа, Свердловская область (Рис. 1, Рис. 2).

В настоящее время рассматриваемая территория представляет собой нарушенный земельный участок с характерными для

Таблица 1. Содержание химических элементов в пробах почва-грунта месторождения «Кабан-1» [13]
Table 1. Content of chemical elements in soil samples from the Kaban-1 deposit [13]

№ точки; П-почва; Р- растение;	Содержание химических элементов, мг/кг			
	Cu	Zn	Cd	Fe
2п/6р	277.75±5.04	138.75±2.49	2.10±0.18	82526.50±2548.35
3п/5р	185.37±3.57	80.00±1.42	2.14±0.19	44352.50±1657.19
5п/4р	264.55±5.21	58.30±1.23	2.65±0.16	41965.50±1298.34
6п/1р	703.75±11.33	168.75±3.94	2.51±0.15	107753.50±3582.85
7п/2р	814.83±12.95	131.11±3.12	2.22±0.15	102743.00±3338.64
8п/2р	386.50±7.28	105.00±3.01	3.32±0.27	59422.50±1791.18
9п/3р	365.48±6.82	85.83±1.92	3.25±0.25	57913.00±1668.93
Фон п	154.92±2.15	29.01±1.02	1.00±0.15	30111.03±1119.01

открытой разработки месторождений признаками: двумя затопленными карьерами, сформированными внешними отвалами вскрышных и вмещающих пород и довольно скудной растительностью. Общая площадь нарушенной территории превышает 80 гектаров, из которых 11 гектаров занимает водная поверхность.

Расстояние до административного центра Свердловской области, города Екатеринбурга, примерно 190 километров. Ближайший крупный населенный пункт, город Верхняя Тура, располагается всего в 13 километрах.

На 1 января 2022 года согласно Государственному балансу Российской Федерации по месторождению «Кабан-1» учитываются следующие запасы меди, предназначенные для открытой отработки (в соответствии с Техническими Кондциями Залегания (ТКЗ) 2012г. №243):

- Категории А+В+С1: Общий объем руды составляет 142 тысячи тонн, среднее содержание меди в ней составляет 1,41%, что составляет 2 тысячи тонн.

- Категория С2: в данной категории запасы руды оцениваются в 1260 тысяч тонн, с содержанием меди в 11,3 тысяч тонн.

- Забалансовые: отмечается наличие 351 тысячи тонн руды, содержащей около 1,5 тысячи тонн меди.

Таким образом, принимая во внимание наличие запасов, можно считать, что месторождение законсервировано. Однако при проведении полевых исследований зафиксированы значительные превышения ПДК как в границах промплощадки, так и за ее пределами по направлению техногенного потока подотвальных вод. Точки отбора проб приведены на Рис. 3. Содержание меди (Cu) в пробах образцов грунта варьирует от 185.37 до 814.83 мг/кг, концентрация цинка (Zn) наблюдается в диапазоне от 58.30 до 201.25 мг/кг, а железа (Fe) – от 38603.00 до 107753.50 мг/кг, что указывает на разнообразие и сложность химического

состава почвы на данном участке [13] (Таблица 1).

Согласно данным проведенных исследований, сконцентрированные в отвалах вскрышных пород тяжелые металлы в количестве, превышающем ОДК, перемещаются в пространстве в потоке кислых подотвальных вод, не встречая на своем пути ощутимые препятствия в виде биогеохимических барьеров, способных локализовать в определенном участке местности загрязняющие вещества.

Исходя из этого, на территории площадки отработанного месторождения Кабан-1 были отобраны отдельно произрастающие особи растений иван-чая узколистного (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) с целью анализа показателей роста растений в условиях техногенного полиметаллического загрязнения и оценки возможности образования точек самозаращения и биоаккумуляции тяжелых металлов.

Точки отбора особей растений представлены на Рис. 3, всего было отобрано 12 особей растений иван-чая узколистного.

Иван-чай, также известный как кипрей, представляет собой род травянистых многолетних растений из семейства кипрейных. Растения этого рода характеризуются стеблем высотой до 150 см с равномерным облиственным покровом. Листья иван-чая располагаются очередным порядком, они сидячие и имеют ланцетную форму. Цветки иван-чая собраны в верхушечные кисти, что делает их привлекательными для пчел и других опылителей. Плодом иван-чая является вытянутая стручковидная коробочка, которая раскрывается четырьмя створками, и семена содержат хохолок из длинных волосков, облегчающих распространение семян ветром или животными [14].

Отобранные пробы растений иван-чай узколистный были высушены в сушильном шкафу при температуре 95 градусов в течение 8

часов, для этого использовали прибор ШС-80-01-СПУ производства ООО «ПриборУфа» (Россия).

В рамках исследования была использована микроволновая система MARS 5 Digestion Microwave System согласно методике EPA 3052 для озоления проб. Этот метод позволял получать прозрачные образцы без цвета и твердых частиц, облегчая анализ и обработку проб. Для определения концентраций ионов металлов в минерализованных пробах использовали атомно-абсорбционную спектроскопию (ААС) с применением спектрофотометра Varian AA 240 FS от компании Varian Australia Pty Ltd.

Результаты и обсуждение

Концентрация химических элементов в растениях является результатом сложного взаимодействия биологических особенностей, наличия функциональных барьеров, например, на переходе между корнем и стеблем, а также концентрации этих элементов в почве [15-17]. Различные виды растений обладают уникальными биологическими особенностями, которые могут влиять на способность поглощать и накапливать химические элементы [18-20].

Для характеристики накопления кадмия, цинка, железа и меди как основных токсикантов на исследуемом объекте в растениях



Рис. 4. Особь растения Иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) на территории площадки отработанного месторождения «Кабан-1», точка отбора – 3р

Fig. 4. An individual of the plant Ivan-tea narrow-leaved (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) on the territory of the site of the developed deposit "Kaban-1", sampling point – 3p

Таблица 2. Морфологические показатели и содержание Cu, Zn, Fe, Cd в корнях и побегах особей Иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.)

Table 2. Morphological parameters and contents of Cu, Zn, Fe, Cd in the roots and shoots of Ivan-tea specimens (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.)

№ точки	Корень/ Побег				
	Длина, см	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Fe, мг/кг	Cd, мг/кг
1р	<u>53.00±7.31</u>	<u>285.15±21.57</u>	<u>71.48±2.25</u>	<u>335.11±21.05</u>	<u>1.00±0.20</u>
	125.11	72.15±3.81	12.15±0.77	818.18±36.00	1.00±0.20
2р	<u>39.48±5.12</u>	<u>280.64±24.22</u>	<u>71.47±5.74</u>	<u>451.83±36.11</u>	<u>1.55±0.19</u>
	81.26	94.12±4.33	14.66±1.99	1153.43±91.64	<0.0015
3р	<u>52.47±5.58</u>	<u>210.25±15.03</u>	<u>50.33±4.95</u>	<u>305.19±22.18</u>	<u>1.25±0.11</u>
	101.15	72.17±6.84	7.50±0.87	853.48±76.94	1.05±0.10
4р	<u>48.86±8.83</u>	<u>220.45±16.83</u>	<u>44.35±3.42</u>	<u>295.66±19.00</u>	<u><0.0015</u>
	122.19	70.11±4.33	7.81±1.20	671.53±56.17	<0.0015
5р	<u>47.54±5.76</u>	<u>243.95±12.66</u>	<u>47.38±2.13</u>	<u>319.10±28.18</u>	<u>1.35±0.15</u>
	95.45	72.17±6.84	7.90±0.88	773.08±53.13	1.00±0.20
6р	<u>50.00±5.55</u>	<u>250.65±67.45</u>	<u>52.31±3.63</u>	<u>285.11±19.11</u>	<u>1.30±0.10</u>
	94.33	75.15±4.28	8.80±1.11	859.75±57.10	1.00±0.20
Ср. значения	<u>48.56</u>	<u>248.52</u>	<u>56.22</u>	<u>332.00</u>	<u>1.08</u>
	104.91	75.97	9.80	854.90	1.00
Фон	<u>70.00±2.38</u>	<u>44.07±5.39</u>	<u>7.74±1.37</u>	<u>150.66±24.00</u>	<u><0.0015</u>
	141.22	14.23±2.32	2.55±0.32	421±32.46	<0.0015

подсчитывался коэффициент накопления (КН) и коэффициент корневого барьера (ККБ). Коэффициент накопления – это отношение концентрации химических элементов в надземной части растения к их концентрации в почве, что позволяет оценить, насколько эффективно растение аккумулирует химические элементы. Коэффициент корневого барьера (ККБ) – это отношение концентрации химических элементов в корневой части растения к их концентрации в надземной части растений, что, в свою очередь, позволяет оценить, насколько корни растения выступают в роли барьера, задерживая или контролируя перемещение химических элементов из почвы в надземную часть растения. Таким образом, КН и ККБ помогают оценить способность растений к фиторемедиации загрязненных участков и понять, насколько эффективно растения могут участвовать в формировании биогеохимических барьеров в районах функционирования горнотехнических систем в целях локализации тяжелых металлов.

В рамках работы проведено исследование на 12 особях растений иван-чай узколистый (Рис. 4). Измерена длина как подземной, так и надземной частей растений, взяты навески сухой массы для элементного анализа. Точки отбора проб (1-6р) представлены на Рис. 3, а результаты элементного анализа и значения морфологических показателей приведены в Таблице 2.

Для подсчета коэффициента накопления приняты данные элементного состава на территории месторождения «Кабан-1», представленные в Таблице 1 [11]. Морфометрические показатели и содержание ТМ в растениях позволяют оценить возможность аккумуляции кипреем ТМ (Таблица 2).

Из представленных данных видно, что длина надземной части растений на территории месторождения «Кабан-1» колеблется в диапазоне от 95.45 до 125.11 см, а длина корня варьирует от 39.48 до 53.00 см. Сравнивая эти данные с значениями фона, можно отметить, что в точках проб на месторождении «Кабан-1» средние значения длины корневой системы в 1.4

раза меньше, а надземной части – в 1.3 раза. Анализ средних значений меди, цинка и железа, накопленных в корнях растений на данной территории, выявил значительное превышение концентрации этих элементов по сравнению с фоновым участком: в 5.6 раз для меди, 7.7 раз для цинка и 2.1 раз для железа. Важно отметить, что в надземной части растений также зафиксированы превышения концентрации химических элементов относительно фоновых значений: в 5.3 раза для меди, 3.8 раза для цинка и в 2 раза для железа. Эти результаты свидетельствуют о необходимости контроля за содержанием токсичных элементов в почве и их влияния на биологические растительные ресурсы, а также способности к аккумуляции.

В связи с вышесказанным были подсчитаны коэффициент корневого барьера (ККБ) и коэффициент накопления (КН) для исследуемых образцов (Таблица 3). Значения ККБ выше единицы указывают на наличие корневого барьера при поглощении элементов растениями.

Расчет ККБ показал, что для всех рассмотренных образцов характерным является барьерный тип накопления, исключение составил элемент Fe – для него ККБ наблюдался в значениях от 0.33 до 0.44. Это указывает на то, что большинство микроэлементов имеют выраженный корневой барьер, который ограничивает их переход от корня к надземным частям растения. Низкие значения КН указывают на наличие физиологических механизмов, таких как барьеры поглощения, которые помогают предотвратить избыточное поступление химических элементов в надземную часть растений. Этот процесс может быть обусловлен образованием труднорастворимых соединений элементов, которые снижают доступность элементов для поглощения растениями. Подобные физиологические механизмы могут приводить к иммобилизации элементов, то есть их защите от поступления в растения, или к переходу в форму, слабо усваиваемую растениями.

Заключение

Согласно полученным данным по результатам расчета ККБ и КН можно

Таблица 3. Значения показателей ККБ и КН в точках отбора проб на территории месторождения «Кабан-1»

Table 3. Values of KKB and KN indicators at sampling points on the territory of the Kaban-1 deposit

№ точки	ККБ				КН			
	Cu	Zn	Fe	Cd	Cu	Zn	Fe	Cd
1р	3.95	5.88	0.41	1.00	0.10	0.07	0.01	0.40
2р	2.98	4.88	0.39	0.00	0.12	0.11	0.01	0.00
3р	2.91	6.71	0.36	1.19	0.20	0.09	0.01	0.32
4р	3.14	5.68	0.44	0.00	0.27	0.13	0.02	0.00
5р	3.38	6.00	0.41	1.35	0.39	0.10	0.02	0.47
6р	3.34	5.94	0.33	1.30	0.27	0.06	0.01	0.48
Фон	3.09	3.03	0.35	3.09	0.09	0.08	0.01	<0.0015

констатировать наличие барьерного типа накопления элементов у растений. Значения ККБ как на промплощадке, так и на фоновом участке сходны, что указывает на схожесть механизмов накопления элементов. Эти результаты свидетельствуют о необходимости учета ККБ и КН при разработке методики проектирования мероприятий, локализирующих миграцию тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах, путем формирования биогеохимических барьеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев В. Л. Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых. Горная промышленность. 2022. №1S. С. 3445. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-34-45.
2. Рьльникова М. В. [и др.] Роботизированные геотехнологии как путь повышения эффективности и экологизации освоения недр // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 1.
3. Пашкевич М. А. Оценка экологической опасности производственных объектов при добыче и переработке полезных ископаемых // Записки Горного института. 2006. Т. 168. С. 29–31.
4. Каплунов Д. Р. [и др.] Систематизация и типизация горнотехнических систем комбинированной геотехнологии // ГИАБ. 2009. № 11. С. 194-205.
5. Антонинова Н. Ю., Рыбникова Л. С., Славиковская Ю. О., Шубина Л. А. Эколого-экономические аспекты выбора направлений реабилитации территорий размещения промышленных отходов горно-металлургического комплекса // Горная промышленность. 2022. № S1. С. 71–77. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-71-77.
6. Genchi G., Sinicropi M.S., Lauria G. et al. The Effects of Cadmium Toxicity // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17. Iss. 11. № 3782. DOI: 10.3390/ijerph17113782.
7. Горбунов А. В., Ермолаев Б. В., Петренко Д. Б. [и др.] Биоаккумуляция тяжелых металлов и других токсичных элементов в мышцах рыб бассейна р. Волги // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 80–88. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-080-088.
8. Assadian E., Zarei M. H., Gilani A. G. [et al.] Toxicity of Copper Oxide (CuO) Nanoparticles on Human Blood Lymphocytes // Biol Trace Elem Res. 2018. № 184. Pp. 350–357. DOI: 10.1007/s12011-017-1170-4.
9. Ma Y, Su Q, Yue C, Zou H, Zhu J, Zhao H, Song R, Liu Z. The Effect of Oxidative Stress-Induced Autophagy by Cadmium Exposure in Kidney, Liver, and Bone Damage, and Neurotoxicity // Int J Mol Sci. 2022 Nov 4. 2022. № 23(21). 13491. DOI: 10.3390/ijms232113491. PMID: 36362277; PMCID: PMC9659299.
10. Zhao H., Guan J., Liang Q. [et al.] Effects of cadmium stress on growth and physiological characteristics of sassafras seedlings // Sci Rep. 11, 9913. 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-89322-0.
11. Габараева З. Г., Макиева Д. Ч. Действие тяжелых металлов на организм человека // Образование и право. 2020. № 11. С. 302–304. DOI: 10.24411/2076-1503-2020-11146
12. Zhushan Fu, Shuhua Xi. The effects of heavy metals on human metabolism // Toxicology Mechanisms and Methods. 2020. Vol. 30. Iss. 3. P. 167–176. DOI: 10.1080/15376516.2019.1701594.
13. Антонинова Н. Ю., Собенин А. В., Усманов А. И., Горбунов А. А. Обоснование возможности применения отходов производства гуминовых препаратов для очистки сточных вод от металлов (Cd²⁺, Zn²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺) с целью разработки эффективных мероприятий по экологической реабилитации // Записки Горного института. 2024. Т. 267. С. 421–432. EDN NYTVJH.
14. Крупкина Л. И. Иван-Чай // Большая российская энциклопедия. Том 10. Москва, 2008. С. 663–664.
15. Zulfiqar U., Ayub A., Hussain S. [et al.] Cadmium Toxicity in Plants: Recent Progress on Morpho-physiological Effects and Remediation Strategies. J Soil Sci Plant Nutr 22. 2022. Pp. 212–269. DOI: 10.1007/s42729-021-00645-3.
16. Ельчинова О. А. [и др.] Микроэлементы в межгорно-котловинных агроландшафтах Горного Алтая // Агрохимия. 2021. № 6. С. 16–27. DOI: 10.31857/S0002188121060041.
17. Лескова О. А. [и др.] Накопление и распределение химических элементов в растениях *Taraxacum officinale* Wigg. (Забайкальский край) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии 2021. № 20-1. С. 265–268. DOI: 10.14258/pbssm.2021051.
18. Сиромля Т. И., Загурская Ю. В. Элементный химический состав *Hypericum perforatum* – ненормируемые элементы // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 179–187. DOI: 10.14258/jcprm.2019023965.
19. Калугина О. В. [и др.] Использование травянистых растений (*Chamaenerion angustifolium* и *Tanacetum vulgare*) для мониторинга загрязнения территорий фторсодержащими выбросами // Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 309–316. DOI: 10.14258/jcprm.2019014097.
20. Афанасьева Л. В., Аюшина Т. А. Накопление и распределение микроэлементов в растениях *Arctostaphylos uva-ursi* // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 123–128. DOI: 10.14258/jcprm.2018033718.

Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Корнилков Сергей Викторович, профессор, главный научный сотрудник ИГД УрО РАН, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), доктор технических наук, e-mail: kornilkov@igduran.ru

Антонинова Наталья Юрьевна, заведующая лабораторией экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), кандидат технических наук, ORCID iD: 0000-0002-8503-639X, e-mail: natal78@list.ru

Собенин Артем Вячеславович, научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), ORCID iD: 0000-0001-5513-5680, e-mail: arsob@yandex.ru

Усманова Вероника Алексеевна, младший научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), ORCID iD: 0009-0007-1942-2050, e-mail: vnika196@mail.ru

Усманов Альберт Исмагилович, научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), ORCID iD: 0000-0002-3650-0467, e-mail: albert3179@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Корнилков Сергей Викторович - постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Антонинова Наталья Юрьевна - постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Собенин Артем Вячеславович - постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Усманова Вероника Алексеевна - постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Усманов Альберт Исмагилович - постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ABOUT THE BASIC PROVISIONS OF THE METHODS FOR DESIGNING MEASURES THAT LOCALIZE THE MIGRATION OF HEAVY METALS IN SOILS AND TECHNOGENIC SOILS

Sergey V. Kornilkov, Natalia Yu. Antoninova,
Artem V. Sobenin, Veronika A. Usmanova *,
Albert I. Usmanov

Institute of Mining UB RAS

*for correspondence: vnika196@mail.ru



Abstract.

The article examines the features of the accumulation and distribution of microelements in angustifolia fireweed plants growing on the territory of a conserved copper pyrite deposit to substantiate the possibility of its use in a set of measures aimed at localizing the migration of heavy metals in soils and technogenic soils when designing mining systems. The relevance is determined by the need to develop and implement measures to form biogeochemical barriers in order to improve the organization of production processes during the development of mineral deposits, taking into account

Article info

Received:

06 August 2024

Accepted for publication:
22 November 2024

Accepted:
02 December 2024

Published:
05 December 2024

Keywords: mining system, heavy metals, wastewater, geochemical barriers, waste production.

environmental safety. The research methods consist of analyzing the state of land, water, and biological plant resources at the sites where overburden and host rocks are placed at the stage of conservation of the copper pyrite deposit. As a result of the studies, it was found that all studied plant samples are characterized by a barrier type of accumulation of microelements, with the exception of the element Fe. Analysis of the content of copper, zinc and iron in the roots of angustifolia willowherb shows an excess of the concentration of these elements compared to the background site. 5.6 times, 7.7 times, 2.1 times, respectively. It is noted that an excess of the concentration of chemical elements is also observed in the above-ground parts of plants: 5.3 times for copper, 3.8 times for zinc and 2 times for iron. These results indicate the need to take into account the KKB and CN when developing methods for designing measures that localize the migration of heavy metals in soils and technogenic soils by forming biogeochemical barriers and can be useful to designers and subsoil users when developing a section of project documentation for environmental protection, including at the stage of reclamation of disturbed lands.

For citation: Kornilkov S.V., Antoninova N.I., Sobenin A.V., Usmanova V.A., Usmanov A.I. On the main provisions of the methodology for designing measures that localize the migration of heavy metals in soils and technogenic soils. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 6(166):85-94. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-85-94, EDN: LUMHKA

Acknowledgements

The article was prepared within the framework of State Assignment No. 075-00412-22 PR. Topic 2 (2022-2024). Development of geoinformation technologies for assessing the security of mining areas and forecasting the development of negative processes in subsoil use (FUWE-2022-0002), reg. No. 1021062010532-7-1.5.1.

REFERENCES

1. Yakovlev V.L. The main stages and results of research on the development of methodological foundations for the strategy for the development of mining systems in the development of deep deposits of solid minerals. *Mining*. 2022;(1S):34-45. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-34-45.
2. Rylnikova M.V. [et al.] Robotic geotechnologies as a way to increase the efficiency and greening of subsoil development. Physical and technical problems of mineral resources development. 2017. № 1.
3. Pashkevich M.A. Assessment of the environmental hazard of production facilities during the extraction and processing of minerals. *Notes of the Mining Institute*. 2006; 168:29-31.
4. Kaplunov D.R. [et al.] Systematization and typification of mining systems of combined geotechnology. *GIAB*. 2009; 11:194-205.
5. Antoninova N.Yu., Rybnikova L.S., Slavikovskaya Yu.O., Shubina L.A. Ecological and economic aspects of choosing directions for rehabilitation of areas where industrial waste is located in the mining and metallurgical complex. *Mining industry*. 2022; S1:71-77. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-71-77.
6. Genchi G., Sinicropi M.S., Lauria G. et al. The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(11):3782. DOI: 10.3390/ijerph17113782.
7. Gorbunov A.V. [et al.] Bioaccumulation of heavy metals and other toxic elements in the muscles of fish in the river basin. Volga. *Theoretical and applied ecology*. 2023; 2:80-88. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-080-088.
8. Assadian E., Zarei M.H., Gilani A.G. [et al.] Toxicity of Copper Oxide (CuO) Nanoparticles on Human Blood Lymphocytes. *Biol Trace Elem Res*. 2018; 184:350-357. DOI: 10.1007/s12011-017-1170-4.
9. Ma Y, Su Q, Yue C, Zou H, Zhu J, Zhao H, Song R, Liu Z. The Effect of Oxidative Stress-Induced Autophagy by Cadmium Exposure in Kidney, Liver, and Bone Damage, and Neurotoxicity. *Int J Mol Sci*. 2022; 4;23(21):13491. DOI: 10.3390/ijms232113491. PMID: 36362277; PMCID: PMC9659299.
10. Zhao H., Guan J., Liang Q. [et al.] Effects of cadmium stress on growth and physiological characteristics of saffron seedlings. *Sci Rep*. 2021; 11, 9913. DOI: 10.1038/s41598-021-89322-0.
11. Gabaraeva Z.G., Makieva D.Ch. Effect of heavy metals on the human body. *Education and law*. 2020; 11:302-304. DOI: 10.24411/2076-1503-2020-11146.
12. Zhushan Fu, Shuhua Xi. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods*. 2020; 30(3):167-176. DOI: 10.1080/15376516.2019.1701594.
13. Antoninova N.Yu., Sobenin A.V., Usmanov A.I., Gorbunov A.A. Rationale the possibility of using waste from the production of humic preparations for treating wastewater from metals (Cd²⁺, Zn²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺) in order to develop effective measures for environmental rehabilitation. *Notes of the Mining Institute*. 2024; 267:421-432. EDN NYTBH.
14. Krupkina L. I. Ivan-chai. *Great Russian Encyclopedia*. Vol. 10. Moscow, 2008. Pp. 663-664.

15. Zulfiqar U., Ayub A., Hussain, S [et al.] Cadmium Toxicity in Plants: Recent Progress on Morpho-physiological Effects and Remediation Strategies. *J Soil Sci Plant Nutr* 22. 2022; Pp. 212–269. DOI: 10.1007/s42729-021-00645-3.

16. Elchinina O.A. [et al.] Microelements in intermountain-basin agrolandscapes of the Altai Mountains. *Agrochemistry*. 2021; 6:16–27. DOI: 10.31857/S0002188121060041.

17. Leskova O.A. [et al.] Accumulation and distribution of chemical elements in plants *Taraxacum officinale* Wigg. (Trans-Baikal Territory). *Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia*. 2021; 20-1:265–268. DOI: 10.14258/pbssm.2021051.

18. Siromlya T.I., Zagurskaya Yu.V. Elemental chemical composition of *Hypericum perforatum* non-standardized elements 2019; 2:179–187. DOI: 10.14258/jcprm.2019023965.

19. Kalugina O.V. [et al.] Use of herbaceous plants (*Chamaenerion angustifolium* and *Tanacetum vulgare*) for monitoring the pollution of territories with fluorine-containing emissions. *Vegetable Chemistry raw materials*. 2019; 1:309–316. DOI: 10.14258/jcprm.2019014097

20. Afanasyeva L.V., Ayushina T.A. Accumulation and distribution of microelements in plants *Arctostaphylos uva-ursi*. *Chemistry of plant raw materials*. 2018; 3:123–128. DOI: 10.14258/jcprm.2018033718.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Sergey V. Kornilkov – professor, chief researcher at the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (620075, Russia, Ekaterinburg, Mamin-Sibiriyaka str., 58), Doctor of Technical Sciences, e-mail: kornilkov@igduran.ru

Natalia Yu. Antoninova – head of the Laboratory of Ecology of Mining Production, Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (620075, Russia, Ekaterinburg, Mamina-Sibiriyaka St., 58), Candidate of Technical Sciences, ORCID iD: 0000-0002-8503-639X, e-mail: natal78@list.ru

Artem V. Sobenin – researcher, Laboratory of Ecology of Mining Production, Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (620075, Russia, Ekaterinburg, Mamina-Sibiriyaka St., 58), ORCID iD: 0000-0001-5513-5680, e-mail: arsob@yandex.ru

Veronika A. Usmanova – junior Researcher, Laboratory of Ecology of Mining Production, Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (620075, Russia, Ekaterinburg, Mamina-Sibiriyaka St., 58), ORCID iD: 0009-0007-1942-2050, e-mail: vnika196@mail.ru

Albert I. Usmanov – researcher, Laboratory of Ecology of Mining Production, Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (620075, Russia, Ekaterinburg, Mamina-Sibiriyaka St., 58), ORCID iD: 0000-0002-3650-0467, e-mail: albert3179@mail.ru

Contribution of the authors:

Sergey V. Kornilkov – setting a research task, reviewing relevant literature, collecting and analyzing data, conclusions, writing a text.

Natalia Yu. Antoninova – setting a research task, reviewing relevant literature, collecting and analyzing data, conclusions, writing a text.

Artem V. Sobenin – setting a research task, reviewing relevant literature, collecting and analyzing data, conclusions, writing a text.

Veronika A. Usmanova – setting a research task, reviewing relevant literature, collecting and analyzing data, conclusions, writing a text.

Albert I. Usmanov – setting a research task, reviewing relevant literature, collecting and analyzing data, conclusions, writing a text.

All authors have read and approved the final manuscript.

