

Научная статья

УДК 574.24

DOI: 10.32516/2303-9922.2024.49.5

Содержание тяжелых металлов в побегах *Melilotus officinalis* L. при внесении почвенных микроорганизмов и гуматов в техногенно нарушенный грунт

Наталья Александровна Макеева

Федеральный исследовательский центр Угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, Кемерово, Россия, natykor@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1971-4068>

Аннотация. В статье представлены результаты эксперимента по изучению содержания тяжелых металлов в побегах *Melilotus officinalis* L. при внесении почвенных микроорганизмов и гумата калия в грунт породного отвала угольного разреза «Кедровский». Грунты исследуемого участка относятся к суглинку среднему, обладают щелочной реакцией среды (рН 7,8), содержание подвижных форм азота составляет 1,7 мг/кг, фосфора — 7 мг/кг и калия — 125 мг/кг. Количество тяжелых металлов на участке, где заложен эксперимент, не превышает ПДК. Сравнительный анализ содержания цинка, кадмия, свинца, меди, железа, хрома и никеля в побегах *Melilotus officinalis* L. с растительностью на незагрязненных почвах показал незначительное содержание данных элементов. При внесении микробиологических препаратов в отвальный грунт содержание меди снижается на 40—45%, железа — на 50—53%, свинца — на 54—57%, хрома — на 66—79%, никеля — на 40—41% по сравнению с контролем. Количество цинка при внесении почвенных микроорганизмов выше контроля на 60%, при внесении смеси почвенных микроорганизмов с гуматом калия — на 150%.

Ключевые слова: *Melilotus officinalis* L., породный отвал, угольный разрез, техногенно нарушенные территории, рекультивация, почвенные микроорганизмы, тяжелые металлы.

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию АААА-А21-121011590010-5.

Для цитирования: Макеева Н. А. Содержание тяжелых металлов в побегах *Melilotus officinalis* L. при внесении почвенных микроорганизмов и гуматов в техногенно нарушенный грунт // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2024. № 1 (49). С. 59—70. URL: http://vestospu.ru/archive/2024/articles/49/5_49_2024.pdf. DOI: 10.32516/2303-9922.2024.49.5.

Original article

Heavy metals content in *Melilotus officinalis* L. shoots during the introduction of soil microorganisms and humates into disturbed soil

Natalya A. Makeeva

Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia, natykor@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1971-4068>

Abstract. This paper presents the results of an experiment to study the content of heavy metals in *Melilotus officinalis* L. shoots when soil microorganisms and potassium humate are introduced into the soil of the rock dump of the Kedrovsky coal mine. The soils of the studied area belong to medium loam, have an alkaline reaction of the medium (pH 7.8), the content of mobile forms of nitrogen is 1.7 mg/kg, phosphorus — 7 mg/kg and potassium — 125 mg/kg. The amount of heavy metals in the area where the experiment is laid does not exceed the MAC. The comparative analysis of the content of zinc, cadmium, lead, copper, iron, chromium and nickel in *Melilotus officinalis* L. shoots with vegetation on uncontaminated soils showed an insignificant amount of these elements. When microbiological preparations are introduced into the dump soil, the copper content decreases by 40—45%, iron — by 50—53%, lead — by 54—57%, chromium — by 66—79%, nickel — by 40—41% compared

© Макеева Н. А., 2024

to the control. The amount of zinc when introducing soil microorganisms is 60% higher than the control, when introducing a mixture of soil microorganisms with potassium humate — by 150%.

Keywords: *Melilotus officinalis* L., rock dump, coal mine, disturbed territories, reclamation, soil microorganisms, heavy metals.

Acknowledgements. The work was carried out according to the state task AAAA-A21-121011590010-5.

For citation: Makeeva N. A. Heavy metals content in *Melilotus officinalis* L. shoots during the introduction of soil microorganisms and humates into disturbed soil. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 2024, no. 1 (49), pp. 59—70. DOI: <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.49.5>.

Введение

Добыча каменного угля является причиной основных экологических проблем в Кемеровской области — Кузбассе. В районах угледобычи полностью разрушаются природные комплексы, образуются отвалы и карьерные выемки, происходит значительная деформация растительного покрова [35]. Одним из видов негативного воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую среду является загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) и их миграция по цепям питания [16; 40]. Несмотря на то что тяжелые металлы относятся к микроэлементам и принимают участие в метаболизме живых организмов, увеличение концентрации многих из них (таллий, кадмий, марганец, свинец, ртуть, радиоактивные металлы, мышьяк, хром (VI), полоний) выше определенного порога делает эти элементы токсичными.

По литературным данным известно, что большинство горных пород Кузбасского угольного бассейна являются нетоксичными, что делает их пригодными для произрастания высших растений [36, с. 105]. Например, на породных отвалах шахты «Юбилейная», разрезов «Бунгурский Северный» (Новокузнецкий район) и Кедровский (г. Кемерово), ООО «Участок “Коксовый”» (г. Киселевск) содержание тяжелых металлов в грунте и растительном материале не превышает ПДК [15; 28; 33; 38]. Тем не менее есть данные о более высоком содержании ТМ в техноземах Кузбасса относительно почв в близлежащих регионах [1; 5; 21]. Значительные концентрации цинка, меди, никеля, мышьяка обнаружены в отвалах Корчакольского разреза [6], меди, никеля и цинка — в отвалах Барзасского и Моховского угольных разрезов [32]. Таким образом, территория Кузнецкой котловины характеризуется различным содержанием ТМ в почвах в зависимости от состава подстилающих пород. Установлено, что в аргиллитах содержание меди, цинка и свинца превышает ПДК в 1,14—5,1 раза; в алевролитах содержание хрома, цинка, мышьяка, свинца и никеля — в 1,3—9,4 раза; в песчаниках — пул цинка, свинца и хрома — в 2—9,6 раза [13]. Породы, вынесенные на дневную поверхность, подвергаются воздействию процессов выветривания, в результате чего металлы сначала высвобождаются, а затем мигрируют на прилегающие территории, что приводит к загрязнению экологических систем [31]. Кроме того, отходы угольных разрезов зачастую содержат сульфиды, которые, растворяясь в воде, приводят к подкислению грунта и вымыванию тяжелых металлов [21; 37].

Тяжелые металлы способны находиться продолжительное время в почве и органах растений, что делает их наиболее долговечными индикаторами загрязнения экологических систем. Опасность содержания тяжелых металлов в породных отвалах заключается в возможности их попадания в организм человека и млекопитающих, вызывая ряд заболеваний [42]. Установлено, что растения выступают в роли своеобразного фильтра, предотвращающего поступление избытка металлов в пищевую цепь [3; 11, с. 279—283]. Однако территории, нарушенные в результате добычи полезных ископаемых, долгое время представляют собой пустоши и являются малопригодными для активного почвообразования; растения, заселяющие такие почвы, оказываются в условиях, приближенных к экстремальным [2; 19; 30]. Поэтому необходимо проводить мероприятия по восстановле-

нию нарушенных земель, которые включают как посев (посадку) растений, устойчивых к загрязняющим веществам, так и применение почвоулучшающих технологий и веществ.

Возделывание многолетних трав на рекультивируемых землях повышает биологическую активность нарушенных почв, а также улучшает их структуру. Широкое применение в качестве фитомелиоранта нашел донник лекарственный (*Melilotus officinalis* L.). Под его влиянием повышается деятельность почвенных микроорганизмов, наблюдается положительное изменение физических и химических свойств почв, увеличивается нитрификационная способность, отмечено накопление органических веществ [26; 27, с. 12]. Благодаря этим свойствам разные виды донника используют в рекультивации нарушенных и засоленных земель [12]. Кроме того, донник лекарственный имеет хозяйственное значение как кормовая и медоносная культура, а также как источник лекарственного сырья.

Использование микробиологических препаратов и различных удобрений на породных отвалах также показало положительный результат. Их применение не только способствует увеличению агрохимических показателей, но и снижает концентрации токсичных веществ [17; 23; 39; 41]. Тяжелые металлы наиболее прочно удерживаются верхним гумусовым горизонтом почвы. Поэтому в процессах разрушения и обезвреживания тяжелых металлов большое значение имеют органические удобрения, которые образуют с ними органоминеральные соединения, характеризующиеся низкой растворимостью. Кроме того, внесение минеральных и органических удобрений способствует снижению концентрации тяжелых металлов в растениях и за счет так называемого эффекта «биологического разбавления», когда снижение концентрации загрязняющего вещества происходит за счет увеличения биомассы на фоне применения удобрений.

Анализ литературных данных показал, что комплексное применение фитомелиорантов, микробиологических препаратов и органических удобрений способствует более интенсивному восстановлению нарушенных почв. В то же время недостаточно изучены особенности накопления тяжелых металлов растениями при использовании гуминовых удобрений и микробиологических препаратов.

Целью настоящей работы является изучение содержания тяжелых металлов (цинк, кадмий, свинец, медь, железо, хром, никель) в побегах *Melilotus officinalis* L. при внесении почвенных микроорганизмов и гумата калия на породных отвалах угольного разреза «Кедровский». Исходя из поставленной цели, решались следующие задачи:

- 1) провести анализ валового содержания ТМ в отвальном грунте перед началом эксперимента;
- 2) оценить накопление ТМ в побегах донника лекарственного второго года произрастания после внесения в отвальный грунт почвенных микроорганизмов отдельно и в смеси с гуматом калия;
- 3) рассчитать коэффициент биологического поглощения ТМ растениями *Melilotus officinalis* L.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на участке отвала «Южный» Кедровского угольного разреза города Кемерово, Кемеровская область — Кузбасс. Географические координаты — 56°32'52" с. ш., 86°05'54" в. д.

В соответствии с эколого-географическим районированием Кедровский угольный разрез расположен в северной лесостепи Кузнецкой котловины [35]. Физико-географические характеристики района исследования соответствуют данным на территории разреза [25].

Отвалы угольного разреза «Кедровский» состоят из элементов рельефа различных форм и размеров, хаотично расположенных над поверхностью земли в высоту до 10—40 м. Неблагоприятный гидротермический режим отвалов обусловлен особенностями рельефа, отсутствием растительности и преобладанием щебнисто-каменистых фракций в грунтосмесях. В летние месяцы поверхность породных отвалов может нагреваться до 62—65 °С, а большое содержание крупных агрегатов в субстрате определяет низкую влагоемкость, из-за чего запас влаги в корнеобитаемом слое составляет 0,4—0,8% наименьшей полевой влагоемкости [18, с. 59]. Кроме того, на отвалах формируется жесткий ветровой режим, который является причиной сдувания снежного покрова на лишенных растительности участках [34].

Почвы прилегающих земель — серые лесные и светло-серые оподзоленные. Грунты исследуемого участка относятся к суглинку среднему. По уровню pH — слабощелочные. Содержание подвижных форм основных элементов питания определяется как низкое: азот — 1,7 мг/кг, фосфор — 7 мг/кг, калий — 125 мг/кг [24].

Экспериментальные работы проводились в течение двух вегетационных периодов (2020—2021 гг.). В первый год исследований проведен посев *Melilotus officinalis* L. на опытные участки площадью 1 м² (2 г семян на 1 м²). Было заложено три варианта опыта: 1 — контроль (полив водой), 2 — внесение почвенных микроорганизмов, 3 — внесение смеси почвенных микроорганизмов с гуматом калия. Координаты места закладки опыта: 55.510020, 86.058912 (рис. 1).

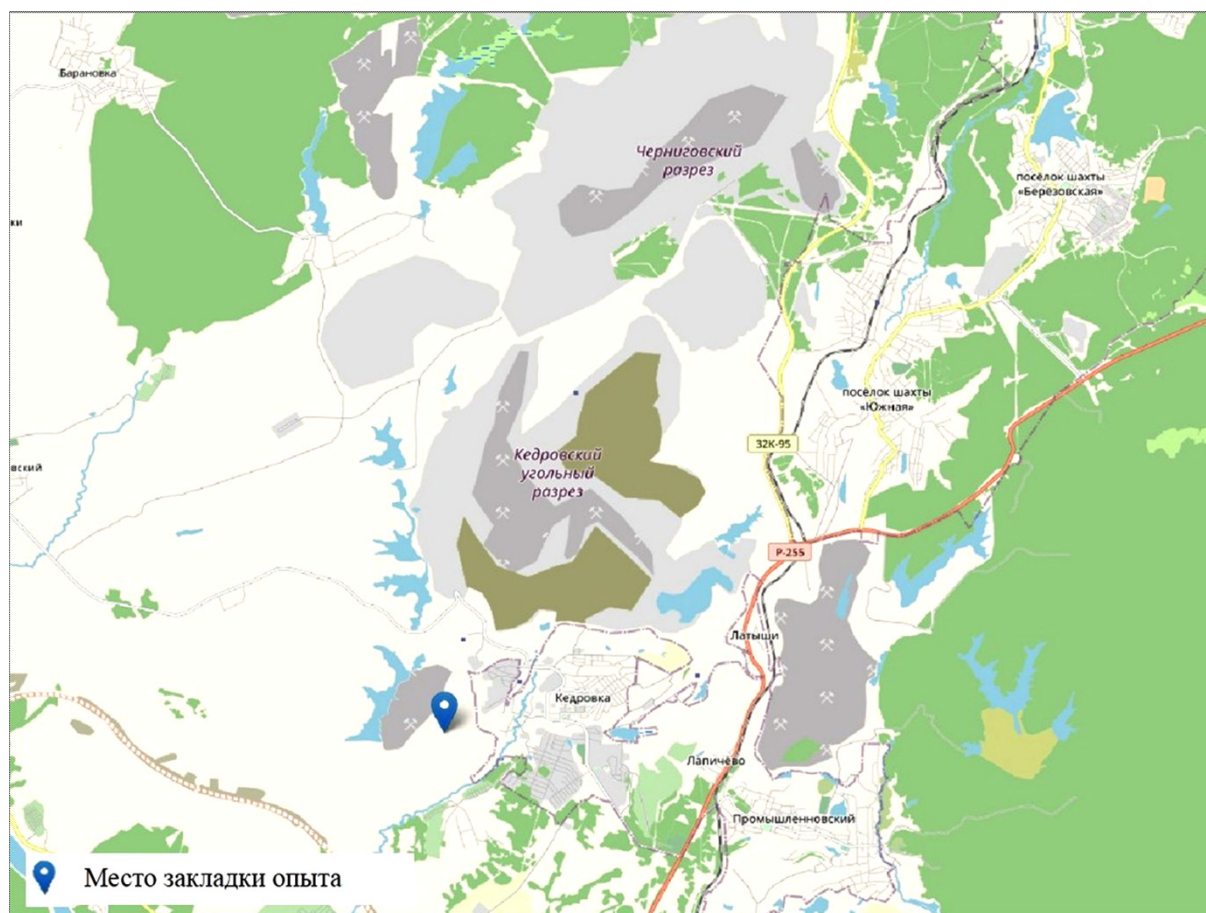


Рис. 1. Место проведения эксперимента (снимок Публичной кадастровой карты)

Согласно разработанной нами методике, микроорганизмы выделяли из зональных почв, затем наращивали на специальных питательных средах: микроскопические гри-

бы — на среде Сабуро, микроорганизмы, использующие минеральный азот, — на крахмало-аммиачном агаре (КАА), микроорганизмы, разрушающие силикаты, — на среде Александра — Зака. Далее микробную массу наращивали в соответствующих жидких питательных средах последовательным пересевом в возрастающие объемы среды [22, с. 39—43]. В качестве стимуляторов роста растений применяли 0,01%-ный раствор гумата калия, полученный из рядового бурого угля [10]. Препараты объемом 7 л/м² вносили в середине периода вегетации в трехкратной повторности.

Содержание тяжелых металлов (цинк, кадмий, свинец, медь, железо, хром, никель) в отвальном грунте перед началом эксперимента и в побегах донника лекарственного второго года произрастания определялось на базе аккредитованного испытательного центра агрохимической службы «Кемеровский» атомно-адсорбционным методом [26]. Количество тяжелых металлов в побегах *Melilotus officinalis* L. сравнивали с усредненными данными содержания ТМ в растительности на незагрязненных почвах [14].

Кэффициент биологического поглощения (A_x) рассчитывали по формуле [6]:

$$A_x = I_x / n_x,$$

где I_x — содержание элемента x в золе растений; n_x — содержание элемента x в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение.

Математическую и статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием стандартного пакета MS Excel [4].

Результаты исследования

Доказано, что количество ТМ в органах высших растений зависит от их количества в почве. Как правило, увеличение концентрации металлов в почве сопровождается повышением их количества в растениях. Кроме того, органы растений задерживают ТМ в различной степени: максимальное содержание обнаруживают в корнях, стебли и листья накапливают меньшее количество элементов, самое низкое — в генеративных органах [14]. При этом концентрация ТМ в различных органах растений изменяется в зависимости от многих факторов: видовые и сортовые особенности культуры, обусловленные генотипом, освещенность, влажность, агрохимические свойства почвы и другие показатели ее плодородия. На трансформацию тяжелых металлов и поступление их в растения существенное влияние оказывают агротехнические приемы и агрохимические средства, применяемые при выращивании культуры.

Проведенные исследования показали, что количество тяжелых металлов в отвальном грунте на участке, где заложен эксперимент, не превышает ПДК [8] (табл. 1). Отмечается незначительное превышение никеля и хрома. Таким образом, грунт отвала «Южный» Кедровского угольного разреза практически не загрязнен тяжелыми металлами.

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в грунте отвала «Южный»

Элемент	ПДК, мг/кг	Количество, мг/кг
Цинк	23	3,24±0,13
Кадмий	—	0,34±0,01
Свинец	6	1,61±0,06
Медь	3	1,37±0,06
Железо	—	254,00±5,32
Хром	6	6,89±0,39
Никель	4	4,62±0,27

Однако не стоит забывать, что загрязнение почвенного покрова носит мозаичный характер с разной концентрацией металлов на поверхности. Их накопление происходит

преимущественно в верхнем (0—20 см) горизонте почвы, где валовое содержание ТМ может локально превышать фоновые значения в десятки и более раз [14]. Кроме того, концентрация ТМ, как и других химических веществ, величина не постоянная. Главным образом на нее оказывают влияние такие параметры, как количество гумуса, сорбционные показатели почвы, уровень рН, тип почвообразующих пород и почв. Установлено, что при увеличении кислотности почв наблюдается увеличение концентрации свинца, цинка и меди, поскольку увеличивается их мобильность, а при изменении реакции среды на щелочную преимущественно сорбируются кадмий и кобальт [14]. Несмотря на снижение риска быть поглощенными растениями, концентрация металлов в почве остается неизменной. Поэтому для более полной характеристики содержания ТМ в техногенно нарушенных почвах необходимо проводить мониторинговые исследования.

Сравнительный анализ содержания цинка, кадмия, свинца, меди, железа, хрома и никеля в побегах *Melilotus officinalis* L. с растительностью на незагрязненных почвах показал незначительное содержание данных элементов (табл. 2). Как было сказано выше, концентрация ТМ в растительном материале находится в прямой зависимости от химического состава почв. Поэтому при низком количестве ТМ в отвальном грунте небольшое их количество в побегах донника было ожидаемо и говорит о том, что *Melilotus officinalis* L. не является гипераккумулятором данных веществ. Кроме того, установлена достоверная положительная корреляция между содержанием цинка и меди в грунте отвала и побегах донника ($r = 0,65$ и $0,74$, $p < 0,05$).

Таблица 2
 Содержание тяжелых металлов и коэффициент биологического поглощения в побегах *Melilotus officinalis* L.

Элемент	Контроль (полив водой)	Внесение почвенных микроорганизмов	Внесение смеси почвенных микроорганизмов с гуматом калия	Растительность на незагрязненных почвах (усредненные данные)
Цинк	$\frac{9,0 \pm 0,41}{2,78}$	$\frac{14,5 \pm 0,74}{4,48}$	$\frac{23,0 \pm 0,87}{7,10}$	53,3
Кадмий	$\frac{\text{менее } 0,05}{0,15}$	$\frac{\text{менее } 0,05}{0,15}$	$\frac{\text{менее } 0,05}{0,15}$	0,78
Свинец	$\frac{1,48 \pm 0,12}{0,92}$	$\frac{0,64 \pm 0,03}{0,40}$	$\frac{0,68 \pm 0,03}{0,42}$	4,1
Медь	$\frac{1,90 \pm 0,13}{1,39}$	$\frac{1,15 \pm 0,05}{0,84}$	$\frac{1,04 \pm 0,04}{0,76}$	9,9
Железо	$\frac{96,3 \pm 0,46}{0,38}$	$\frac{48,7 \pm 1,38}{0,19}$	$\frac{45,2 \pm 1,67}{0,18}$	—
Хром	$\frac{0,98 \pm 0,03}{0,14}$	$\frac{0,33 \pm 0,03}{0,05}$	$\frac{0,21 \pm 0,01}{0,03}$	1,3
Никель	$\frac{4,21 \pm 0,37}{0,91}$	$\frac{2,54 \pm 0,12}{0,55}$	$\frac{2,48 \pm 0,87}{0,54}$	8,1

Примечание: в числителе — количество ТМ (мг/кг), в знаменателе — коэффициент биологического поглощения.

Для характеристики способности донника удерживать и накапливать в тканях тяжелые металлы целесообразно рассчитать коэффициент биологического поглощения (КБП), который выражается как отношение концентрации ТМ в биологическом объекте к его концентрации в почве. Соответственно, чем выше значение КБП, тем больше металла поглощается организмом. Увеличение КБП связывают как с внутренними факторами

(специфичность механизмов поглощения у различных видов организмов), так и с внешними (наличие веществ, которые усиливают поглощение тяжелых металлов, изменение физико-химических условий окружающей среды).

Проведенные исследования показали, что количество свинца, меди, железа, хрома и никеля ниже, чем в контроле. Так, содержание меди при обработке почвы микроорганизмами ниже контроля на 40—45%, железа — на 50—53%, свинца — на 54—57%, хрома — на 66—79%, никеля — на 40—41%. Коэффициент биологической доступности данных элементов в опытных образцах также ниже по сравнению с контролем. Наиболее доступным элементом является медь: в контроле КБП составлял 1,39, в опытных образцах — 0,84 и 0,76. КБП свинца и никеля в контрольных образцах был близок к единице, несмотря на труднодоступность этих элементов для всех видов растений. В опытных вариантах он имел невысокие значения.

Уровень подвижности тяжелых металлов в почве и степень их доступности для высших растений зависят от многих факторов, основными из которых являются количество органического вещества и кислотно-основное состояние. Гуминовые вещества, входящие в состав органических удобрений, способны связывать ионы тяжелых металлов в комплексные соединения хелатного типа, которые становятся труднодоступными для растений и не поглощаются ими. Поэтому можно предположить, что внесение почвенных микроорганизмов и гумата калия способствовало снижению мобильности свинца, меди, железа, хрома и никеля и, как следствие, их концентрации в побегах донника лекарственного по сравнению с контролем.

Распределение цинка носило иной характер: минимальное количество обнаружено в контроле, максимальное — при внесении смеси почвенных микроорганизмов с гуматом калия. Так, количество цинка при внесении почвенных микроорганизмов было выше контроля на 60%, при внесении смеси почвенных микроорганизмов с гуматом калия — на 150%. Цинк относится к биологически активным элементам, поэтому он достаточно подвижен и легко проникает в органы растений. Для соединений цинка, находящихся в почве, характерны высокая подвижность и биологическая доступность для растений. Поэтому коэффициент биологического поглощения имел максимальные значения во всех почвенных образцах (2,78—7,10). Внесение в отвальный грунт микробиологических препаратов стимулировало накопление цинка в побегах донника лекарственного. Точных механизмов данного явления в литературе не описано. Можно лишь предположить, что микробиологические препараты (прямым или косвенным путем) привели к изменению химического состава и свойств отвального грунта и, как следствие, переводу труднодоступных форм цинка в более доступные для растений.

Таким образом, ряды интенсивности поглощения ТМ растениями *Melilotus officinalis* L. имеют следующий вид: при поливе водой (контроль) — $Zn > Cu > Pb > Ni > Fe > Cd > Cr$, при внесении почвенных микроорганизмов отдельно и в комплексе с гуматом калия — $Zn > Cu > Ni > Pb > Fe > Cd > Cr$. Из чего можно сделать вывод, что дополнительное внесение в отвальный грунт микроорганизмов и гумата калия способствует снижению поглощения донником свинца.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что содержание тяжелых металлов в отвальном грунте не превышало уровня ПДК. Сравнительный анализ содержания цинка, кадмия, свинца, меди, железа, хрома и никеля в побегах *Melilotus officinalis* L. с растительностью на незагрязненных почвах также показал незначительное содержание данных элементов.

Внесение почвенных микроорганизмов и гумата калия стимулировало снижение концентрации меди, железа, свинца, хрома и никеля в побегах донника лекарственного по сравнению с контролем и увеличение количества цинка. Дополнительное внесение в отвальный грунт микроорганизмов и гумата калия способствовало снижению поглощения донником свинца.

Поскольку в природной системе наблюдается высокая подвижность ТМ как в почвах, так и в растительности, подобные исследования должны проводиться систематически.

Список источников

1. Артамонова В. С., Бортникова С. Б. Некоторые аспекты экологии рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8, № 1. С. 48—57. DOI: 10.17072/2410-8553-2022-1-48-57.
2. Артамонова В. С., Марченко М. И. Современные аспекты жизнедеятельности молодых почв // Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование : сб. материалов междунар. науч. конф. Новосибирск : Окарина, 2013. С. 57—59.
3. Бабаева Т. М. Очистка загрязненных тяжелыми металлами почв методом фитомелиорации // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5, № 9. С. 234—238. DOI: 10.33619/2414-2948/46/28.
4. Бараз В. Р., Пегашкин В. Ф. Использование MS Excel для анализа статистических данных : учеб. пособие. Нижний Тагил, НТИ (филиал) УрФУ. 2014. 181 с.
5. Богуславский А. Е., Андроханов В. А., Колмагорова Ю. О., Ужогова А. А., Госсен И. Н., Саева О. П. Геохимический фон тяжелых металлов в почвах и растениях на участках отвалов угольных месторождений // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2021. № 2 (61). С. 40—50. DOI: 10.24412/2410-1192-2021-16104.
6. Воробьева Е. Е., Фотина Н. В., Асякина Л. К., Осинцева М. А., Просеков А. Ю. Оценка химических и санитарных показателей грунтов угольных отвалов юга Кузнецкой котловины // Трансформация экосистем. 2022. Т. 5, № 4. С. 83—97. DOI: 10.23859/estr-220603.
7. Геохимия окружающей среды. Практикум / сост. М. М. Мансуров. СПб. : РГГМУ, 2022. 48 с.
8. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.
9. Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев : Гл. ред. Молд. совет. энцикл., 1989. 408 с.
10. Жеребцов С. И., Исмагилов З. Р., Неверова О. А., Корниасова Н. А., Соколов Д. А. Гуминовые вещества бурых углей и перспективы их применения в рекультивации // Разработка комплекса технологий рекультивации техногенно нарушенных земель : материалы Всерос. науч. конф. Кемерово, 2011. С. 20—23.
11. Жуйкова Т. В., Безель В. С. Экологическая токсикология : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Юрайт, 2018. 362 с.
12. Жумадилова Ж. Ш., Мухамбетов Б., Абдиева К. М., Шорабаев Е. Ж., Саданов А. К. Влияние донника на солевой режим и органо-минеральный состав почвы рисового севооборота в условиях Приаралья // Успехи современного естествознания. 2014. № 12 (5). С. 546—549. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34661>.
13. Зубова Л. Г., Зубов А. Р., Верех-Белюсова К. И., Олейник Н. В. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса. Луганск : Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. 144 с.
14. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва — растение. Новосибирск : Наука, 1991. 151 с.
15. Ковалевский А. В., Лучникова Е. М., Астафьева М. В., Филиппова А. В. Содержание тяжелых металлов в плодах земляники лесной *Fragaria vesca* L. на рекультивированных отвалах угольных предприятий Кузбасса // Проблемы и перспективы современной научной мысли в России и за рубежом : сб. тез. III Междунар. конф. Кемерово, 2021. С. 31—33.
16. Кокоев В. Т., Яковлев С. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами в районе горнодобывающих объектов (на примере Квайсинского рудника) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 5. С. 318—319.
17. Костенков Н. М., Ознобихин В. И. Биологическая рекультивация пород угольных отвалов. Владивосток : Дальнаука, 2007. 99 с.
18. Куприянов А. Н., Манаков Ю. А., Баранник Л. П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск : Гео, 2010. 160 с.

19. Курачев В. М., Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 255—261.
20. Ламанова Т. Г., Шеремет Н. В. Агрофитоценозы на отвалах в южной части Кузнецкой котловины. Новосибирск : ЗАО ИПП «ОФСЕТ», 2010. 226 с.
21. Левкин Н. Д., Мухина Н. Е. Влияние породных отвалов угольных шахт на состояние окружающей среды // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2011. № 5. С. 277—279.
22. Макеева Н. А. Влияние инокулята почвенных микроорганизмов на агрохимические показатели техногенных элювиев и продукционные процессы *Avena sativa* L. в условиях породного отвала : дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2015. 161 с.
23. Макеева Н. А. Изучение влияния гуматов натрия на динамику роста овса в условиях породного отвала угольного разреза // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16673>.
24. Макеева Н. А., Неверова О. А. Биогенность породного отвала при внесении почвенных микроорганизмов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23216>.
25. Макеева Н. А., Неверова О. А. Динамика биологической активности эмбриоземов в прикромной зоне древесных растений на отвалах угольных разрезов // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2022. № 3. С. 42—52. DOI: 10.17076/eco1516.
26. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М. : ЦИНАО, 1992. 65 с.
27. Саданов А. К., Курманбаев А. А. Экологическая технология в биологизации земледелия. Алматы : Агроуниверситет, 1999. 48 с.
28. Семенова И. Н., Сундуков Я. Т., Ильбулова Г. Р. Биологическая активность почв как индикатор их экологического состояния в условиях техногенного загрязнения тяжелыми металлами. Уфа : Гилем, 2012. 196 с.
29. Титов В. Н., Мамонов А. Н. Перспективы использования различных видов донника и фацелии в качестве фитомелиорантов в условиях Саратовской области // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2011. Т. 29, № 2. С. 15—17.
30. Ткачева Е. В., Галкина М. А., Стогова А. В. Терриконы в г. Сафоново Смоленской области: растительный покров 20 лет спустя // Трансформация экосистем. 2021. № 4 (4). С. 54—64. DOI: 10.23859/estr-210625.
31. Федотова А. С. Содержание тяжелых металлов в отвалах, образованных вскрышными породами на угольных разрезах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 1. С. 200—205.
32. Фролова А. С., Переверзева М. К., Асякина Л. К., Голубцова Ю. В., Осинцева М. А. Ферментативная активность техногенных поверхностных образований Кузбасса // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (4). С. 538—547. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.538-547.
33. Хасанова Я. Т., Суюндуков Г. Я., Биктимерова М. Б., Суюндукова М. Б. Эколого-токсикологическое состояние почв агроэкосистем в зоне влияния горнорудных предприятий // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования : сб. статей V Всерос. науч.-практ. конф. Нижний Тагил, 2017. С. 330—335.
34. Шереметов Р. Т. Особенности снежного покрова в период максимума снегонакопления 2006 г. на отвалах Кедровского разреза // Рекультивация нарушенных земель в Сибири : сб. науч. тр. Кемерово : Ирбис, 2009. С. 35—39.
35. Экологическая карта Кемеровской области. Масштаб 1 : 500 000 / ред. Л. П. Баранник. М. : Федеральная служба геодезии и картографии России, 1995. 1 л.
36. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / сост.: И. М. Гаджиев, В. М. Курачев, Ф. К. Рагим-Заде. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 305 с.
37. Dang Z., Liu C., Haigh M. J. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils // Environmental Pollution. 2002. N 3. P. 419—426.
38. Egorova I. N., Neverova O. A. Analysis of distribution of radionuclides in various organs of *Taraxacum officinale* Web., which grows in rock waste disposal areas of coal pits in Kuznetsk basin // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 24, N 3. P. 345—349. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.03.13202.
39. Ismagilov Z. R., Zhuravleva N. V., Kerzhentsev M. A., Yashnik S. A., Matus E. V., Podyacheva O. Yu., Khairulin S., Shikina N. V., Ismagilov Z., Kozlov A. P., Smirnov V. G. Environmental issues in Kuznetsk coal basin. Scientific approaches and technologies to reduce environmental pollution // Chemistry for Sustainable Development. 2018. Vol. 26, N 3. P. 221—239. DOI: 10.15372/CSD20180302.
40. Liu Xiaoyang, Bai Z., Shi H., Zhou W., Liu Xiaocai. Heavy metal pollution of soils from coal mines in China // Natural Hazards. 2019. Vol. 99. P. 1163—1177. DOI: 10.1007/s11069-019-03771-5.

41. Makeeva N., Neverova O. The influence of soil microorganisms on heavy metal content in the substrate of waste rock dumps // VI International Scientific Conference “Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions”. Kemerovo, 2021. DOI: 10.1051/bioconf/20213100017.

42. Zahra N., Kalim I. Perilous effects of heavy metals contamination on human health // Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry. 2017. Vol. 18, N 1. P. 1—17. DOI: 10.21743/pjaec/2017.06.01.

References

1. Artamonova V. S., Bortnikova S. B. Nekotorye aspekty ekologii rekul'tivatsii pochv na otvalakh vskryshnykh porod v raionakh ugledobychi [Ecological aspects of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas]. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy — Anthropogenic Transformation of Nature*, 2022, vol. 8, no. 1, pp. 48—57. DOI: 10.17072/2410-8553-2022-1-48-57. (In Russian)

2. Artamonova V. S., Marchenko M. I. Sovremennyye aspekty zhiznedeyatel'nosti molodykh pochv [Modern aspects of the life activity of young soils]. *Prirodno-tekhnogennyye komplekсы: rekul'tivatsiya i ustoychivoe funktsionirovanie: sb. materialov mezhdunar. nauch. konf.* [Natural-technogenic complexes: reclamation and sustainable functioning. Proceed. of the Internat. sci. conf.]. Novosibirsk, Okarina Publ., 2013, pp. 57—59. (In Russian)

3. Babaeva T. M. Ochistka zagryaznennykh tyazhelymi metallami pochv metodom fitomelioratsii [Phyto-Melioration Cleaning of Soils Contaminated With Heavy Metals]. *Byulleten' nauki i praktiki — Bulletin of Science and Practice*, 2019, vol. 5, no. 9, pp. 234—238. DOI: 10.33619/2414-2948/46/28. (In Russian)

4. Baraz V. R., Pegashkin V. F. *Ispol'zovanie MS Excel dlya analiza statisticheskikh dannykh: ucheb. posobie* [Using of MS Excel to analyze statistical data. Textbook]. Nizhnii Tagil, NTI (filial) UrFU Publ., 2014. 181 p. (In Russian)

5. Boguslavskii A. E., Androkhanov V. A., Kolmagorova Yu. O., Uzhogova A. A., Gossen I. N., Saeva O. P. Geokhimicheskii fon tyazhelykh metallov v pochvakh i rasteniyakh na uchastkakh otvalov ugol'nykh mestorozhdenii [Geochemical background of heavy metals in soils and plants in the sites of coal deposits]. *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva — Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society*, 2021, no. 2 (61), pp. 40—50. DOI: 10.24412/2410-1192-2021-16104. (In Russian)

6. Vorob'eva E. E., Fotina N. V., Asyakina L. K., Osintseva M. A., Prosekov A. Yu. Otsenka khimicheskikh i sanitarnykh pokazatelei gruntov ugol'nykh otvalov yuga Kuznetskoi kotloviny [Chemical and sanitary assessment of coal spoil heaps in the south of the Kuznetsk Basin]. *Transformatsiya ekosistem — Ecosystem Transformation*, 2022, vol. 5, no. 4, pp. 83—97. DOI: 10.23859/estr-220603. DOI: 10.23859/estr-220603. (In Russian)

7. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy. Praktikum* [Geochemistry of the environment. Practical guide]. St. Petersburg, RGGMU Publ., 2022. 48 p. (In Russian)

8. *GN 2.1.7.2041-06. Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy* [GN 2.1.7.2041-06. Maximum allowable concentrations (MAC) of chemicals in soil: Hygienic standards]. Moscow, Federal'nyi tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora Publ., 2006. (In Russian)

9. Dedyu I. I. *Ekologicheskii entsiklopedicheskii slovar'* [Ecological encyclopedic dictionary]. Kishinev, Gl. red. Mold. sovet. entsikl. Publ., 1989. 408 p. (In Russian)

10. Zherebtsov S. I., Ismagilov Z. R., Neverova O. A., Korniyasova N. A., Sokolov D. A. Guminovyye veshchestva burykh uglei i perspektivy ikh primeneniya v rekul'tivatsii [Humic substances of brown-coals and prospects for their use in reclamation]. *Razrabotka kompleksa tekhnologii rekul'tivatsii tekhnogenno narushennykh zemel': materialy Vseros. nauch. konf.* [Development of a complex of technologies for reclamation of disturbed lands. Proceed. of the All-Russia sci. conf.]. Kemerovo, 2011, pp. 20—23. (In Russian)

11. Zhuikova T. V., Bezel' V. S. *Ekologicheskaya toksikologiya: uchebnik i praktikum dlya bakalavriata i magistratury* [Environmental toxicology. Textbook and workshop for undergraduate and graduate students]. Moscow, Yurait Publ., 2018. 362 p. (In Russian)

12. Zhumadilova Zh. Sh., Mukhambetov B., Abdieva K. M., Shorabaev E. Zh., Sadanov A. K. Vliyanie donnika na solevoi rezhim i organo-mineral'nyi sostav pochvy risovogo sevooborota v usloviyakh Priaral'ya [The influence of sweet clover on the salt regime and organo-mineral composition of the soil of rice crop rotation in the Aral Sea region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Advances in Current Natural Sciences*, 2014, no. 12 (5), pp. 546—549. Available at: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34661>. (In Russian)

13. Zubova L. G., Zubov A. R., Verekh-Belousova K. I., Oleinik N. V. *Poluchenie metallov iz terrikonov ugol'nykh shakht Donbassa* [Obtaining metals from waste heaps of Donbass coal mines]. Lugansk, VNU im. V. Dal'ya Publ., 2012. 144 p. (In Russian)

14. Il'in V. B. *Tyazhelye metally v sisteme pochva — rastenie* [Heavy metals in the soil-plant system]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 151 p. (In Russian)

15. Kovalevskii A. V., Luchnikova E. M., Astaf'eva M. V., Filippova A. V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v plodakh zemlyaniki lesnoi *Fragaria vesca* L. na rekul'tivirovannykh otvalakh ugol'nykh predpriyatii Kuzbassa [The content of heavy metals in the fruits of wild strawberry *Fragaria vesca* L. on reclaimed dumps of coal enterprises in Kuzbass]. *Problemy i perspektivy sovremennoi nauchnoi mysli v Rossii i za rubezhom: sb. tez. III Mezhdunar. konf.* [Problems and prospects of modern scientific thought in Russia and abroad. Abstr. of the III Internat. conf.]. Kemerovo, 2021, pp. 31—33. (In Russian)
16. Kokoev V. T., Yakovlev S. N. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami v raione gornodobyvayushchikh ob'ektov (na primere Kvaisinskogo rudnika) [Soil contamination with heavy metals in the area of mining facilities (using the example of the Kvaisinsky mine)]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* — *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2005, no. 5, pp. 318—319. (In Russian)
17. Kostenkov N. M., Oznobikhin V. I. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya porod ugol'nykh otvalov* [Biological reclamation of coal dump rocks]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2007. 99 p. (In Russian)
18. Kupriyanov A. N., Manakov Yu. A., Barannik L. P. *Vosstanovlenie ekosistem na otvalakh gornodobyvayushchei promyshlennosti Kuzbassa* [Restoration of ecosystems on dumps of the Kuzbass mining industry]. Novosibirsk, Geo Publ., 2010. 160 p. (In Russian)
19. Kurachev V. M., Androkhonov V. A. Klassifikatsiya pochv tekhnogenykh landshaftov [Classification of Soils of Technogenous Landscapes]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal — Contemporary Problems of Ecology*, 2002, no. 3, pp. 255—261. (In Russian)
20. Lamanova T. G., Sheremet N. V. *Agrofitotsenozy na otvalakh v yuzhnoi chasti Kuznetskoi kotloviny* [Agrophytocenoses on dumps in the southern part of the Kuznetsk Basin]. Novosibirsk, ZAO IPP "OFSET" Publ., 2010. 226 p. (In Russian)
21. Levkin N. D., Mukhina N. E. Vliyanie porodnykh otvalov ugol'nykh shakht na sostoyanie okruzhayushchei sredy [Impact of coal mine waste dumps on the environment]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2011, no. 5, pp. 277—279. (In Russian)
22. Makeeva N. A. *Vliyanie inokulyata pochvennykh mikroorganizmov na agrokhimicheskie pokazateli tekhnogenykh elyuviev i produktsionnye protsessy Avena sativa L. v usloviyakh porodnogo otvala: dis. ... kand. biol. nauk* [The influence of the inoculum of soil microorganisms on the agrochemical parameters of technogenic eluvium and the production processes of *Avena sativa* L. in the conditions of a rock dump. Cand. Dis.]. Novosibirsk, 2015. 161 p. (In Russian)
23. Makeeva N. A. Izuchenie vliyaniya gumatov natriya na dinamiku rosta ovsy v usloviyakh porodnogo otvala ugol'nogo razreza [Study of the effect of sodium humate on growth of oats in the conditions of the dump coal mine]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya — Modern Problems of Science and Education*, 2014, no. 6. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16673>. (In Russian)
24. Makeeva N. A., Neverova O. A. Biogenost' porodnogo otvala pri vnesenii pochvennykh mikroorganizmov [Biogenic of waste dump at entering soil microorganisms]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya — Modern Problems of Science and Education*, 2015, no. 6. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23216>. (In Russian)
25. Makeeva N. A., Neverova O. A. Dinamika biologicheskoi aktivnosti embriozemov v prikronovoi zone drevesnykh rastenii na otvalakh ugol'nykh razrezov [The dynamics of biological activity in technosols around crown perimeters of woody plants on coal mine waste piles]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk — Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science*, 2022, no. 3, pp. 42—52. DOI: 10.17076/eco1516. (In Russian)
26. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodii i produktsii rastenievodstva* [Guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop products]. Moscow, TsINA Publ., 1992. 65 p. (In Russian)
27. Sadanov A. K., Kurmanbaev A. A. *Ekologicheskaya tekhnologiya v biologizatsii zemledeliya* [Ecological technology in biologization of agriculture]. Almaty, Agrouniversitet Publ., 1999. 48 p. (In Russian)
28. Semenova I. N., Sundukov Ya. T., Il'bulova G. R. *Biologicheskaya aktivnost' pochv kak indikator ikh ekologicheskogo sostoyaniya v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya tyazhelymi metallami* [Biological activity of soils as an indicator of their ecological state in conditions of technogenic pollution with heavy metals]. Ufa, Gilem Publ., 2012. 196 p. (In Russian)
29. Titov V. N., Mamonov A. N. Perspektivy ispol'zovaniya razlichnykh vidov donnika i fatselii v kachestve fitomeliorantov v usloviyakh Saratovskoi oblasti [Prospects for the use of various types of sweet clover and phacelia as phytomeliorants in the Saratov region]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, vol. 29, no. 2, pp. 15—17. (In Russian)
30. Tkacheva E. V., Galkina M. A., Stogova A. V. Terrikony v g. Safonovo Smolenskoj oblasti: rastitel'nyi pokrov 20 let spustya [Spoil heaps in Safonovo, Smolensk region: changes in vegetation cover 20 years later].

Transformatsiya ekosistem — Ecosystem Transformation, 2021, no. 4 (4), pp. 54—64. DOI: 10.23859/estr-210625. (In Russian)

31. Fedotova A. S. Soderzhanie tyazhelykh metallov v otvalakh, obrazovannykh vskryshnymi porodami na ugol'nykh razrezakh [Content of heavy metals in dumps formed by overburden rocks in coal mines]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' — Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2006, no. 1, pp. 200—205. (In Russian)

32. Frolova A. S., Pereverzeva M. K., Asyakina L. K., Golubtsova Yu. V., Osintseva M. A. Fermentativnaya aktivnost' tekhnogennykh poverkhnostnykh obrazovaniy Kuzbassa [Enzymative activity of technogenic surface formations of Kuzbass]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka — Agricultural Science Euro-North-East*, 2022, no. 23 (4), pp. 538—547. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.538-547. (In Russian)

33. Khasanova Ya. T., Suyundukov G. Ya., Biktimerova M. B., Suyundukova M. B. Ekologo-toksikologicheskoe sostoyanie pochv agroekosistem v zone vliyaniya gornorudnykh predpriyatii [Ecological and toxicological state of soils of agroecosystems in the zone of influence of mining enterprises]. *Biologicheskie sistemy: ustoychivost', printsipy i mekhanizmy funktsionirovaniya: sb. statei V Vseros. nauch.-prakt. konf. [Biological systems: stability, principles and mechanisms of functioning. Proceed. of the V All-Russia sci.-pract. conf.]*. Nizhnii Tagil, 2017, pp. 330—335. (In Russian)

34. Sheremetov R. T. Osobennosti snezhnogo pokrova v period maksimuma snegonakopleniya 2006 g. na otvalakh Kedrovskogo razreza [Features of snow cover during the period of maximum snow accumulation in 2006 on the dumps of the Kedrovsky open-pit mine]. *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' v Sibiri: sb. nauch. tr. [Reclamation of disturbed lands in Siberia. Collect. sci. papers]*. Kemerovo, Irbis Publ., 2009, pp. 35—39. (In Russian)

35. *Ekologicheskaya karta Kemerovskoi oblasti. Masshtab 1:500000* [Ecological map of the Kemerovo region. Scale 1:500000]. Moscow, Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii Rossii Publ., 1995. 1 sh. (In Russian)

36. Gadzhiev I. M., Kurachev V. M., Ragim-Zade F. K. (comp.) *Ekologiya i rekul'tivatsiya tekhnogennykh landshaftov* [Ecology and reclamation of technogenic landscapes]. Novosibirsk, Nauka. Sib. otd-nie Publ., 1992. 305 p. (In Russian)

37. Dang Z., Liu C., Haigh M. J. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils. *Environmental Pollution*, 2002, no. 3, pp. 419—426.

38. Egorova I. N., Neverova O. A. Analysis of distribution of radionuclides in various organs of *Taraxacum officinale* Web., which grows in rock waste disposal areas of coal pits in Kuznetsk basin. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 24, no. 3, pp. 345—349. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.03.13202.

39. Ismagilov Z. R., Zhuravleva N. V., Kerzhentsev M. A., Yashnik S. A., Matus E. V., Podyacheva O. Yu., Khairulin S., Shikina N. V., Ismagilov Z., Kozlov A. P., Smirnov V. G. Environmental issues in Kuznetsk coal basin. Scientific approaches and technologies to reduce environmental pollution. *Chemistry for Sustainable Development*, 2018, vol. 26, no. 3, pp. 221—239. DOI: 10.15372/CSD20180302.

40. Liu Xiaoyang, Bai Z., Shi H., Zhou W., Liu Xiaocai. Heavy metal pollution of soils from coal mines in China. *Natural Hazards*, 2019, vol. 99, pp. 1163—1177. DOI: 10.1007/s11069-019-03771-5.

41. Makeeva N., Neverova O. The influence of soil microorganisms on heavy metal content in the substrate of waste rock dumps. *VI International Scientific Conference "Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions"*. Kemerovo, 2021. DOI: 10.1051/bioconf/20213100017.

42. Zahra N., Kalim I. Perilous effects of heavy metals contamination on human health. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 2017, vol. 18, no. 1, pp. 1—17. DOI: 10.21743/pjaec/2017.06.01.

Информация об авторе

Н. А. Макеева — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории рекультивации и биомониторинга

Information about the author

N. A. Makeeva — Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Laboratory of Land Reclamation and Biomonitoring

Статья поступила в редакцию 15.11.2023; одобрена после рецензирования 19.01.2024;
принята к публикации 20.02.2024

The article was submitted 15.11.2023; approved after reviewing 19.01.2024;
accepted for publication 20.02.2024