

## Оценка состояния почвенного покрова в районе Унальского хвостохранилища

И. З. Каманина<sup>1,2</sup>✉, С. П. Каплина<sup>1,2</sup>, Д. Н. Чигоева<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Университет «Дубна», Российская Федерация

(141980, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, 19)

<sup>2</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Российская Федерация

(141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио Кюри, 6)

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам

имени профессора Я. В. Самойлова, Российская Федерация

(184250, Мурманская обл., г. Кировск, ул. Ленинградская, 3)

**Аннотация:** Цель – оценить состояние почвенного покрова в зоне влияния Унальского хвостохранилища республики Северная Осетия-Алания.

**Материалы и методы.** Опробование почвенного покрова проводилось в 2016-2017 гг. до рекультивации Унальского хвостохранилища на двух участках в районе сел Нижний и Верхний Унал в соответствии с существующими нормативными документами. В почвах определяли водородный показатель (рН), содержание гумуса, валовых и подвижных форм тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni). Для оценки уровня загрязнения почв использовали санитарно-гигиенические и эколого-геохимические показатели.

**Результаты и обсуждение.** В районе Унальского хвостохранилища выявлено аномально высокое содержание валовых форм Pb (до 1187 мг/кг), Zn (до 1102 мг/кг), Cd (до 4,81 мг/кг). В районе штольни №43 содержание валовых форм тяжелых металлов значительно ниже и в среднем находится на уровне фоновых значений. Содержание валовых форм Cu и Ni не превышает установленных ОДК. В 50 % обследованных проб выявлено превышение ПДК подвижных форм Pb (до 2,7 ПДК). Превышение ПДК подвижных форм Zn (максимум до 18,3 ПДК) отмечается во всех почвах в районе хвостохранилища и на трех площадках в районе горной выработки (до 4,1 ПДК). Превышение подвижных форм Cu (до 4,6 ПДК) выявлено в почвах двух пробных площадок в районе хвостохранилища. Содержание подвижных форм Ni значительно ниже установленных ПДК. Содержание как валовых, так и подвижных форм тяжелых металлов резко убывает с глубиной и коррелирует с содержанием гумуса в профиле. По суммарному показателю загрязнения более половины обследованных почв в районе Унальского хвостохранилища соответствуют умеренно опасному и опасному уровню загрязнения. Для всех обследованных почв в районе штольни № 43, а также полей под овощными культурами в районе хвостохранилища категория загрязнения характеризуется как допустимая.

**Выводы.** Часть обследованной территории в зоне влияния Унальского хвостохранилища по уровню загрязнения почв относится к зоне экологического бедствия и чрезвычайной экологической ситуации.

**Ключевые слова:** загрязнение, почва, тяжелые металлы, Унальское хвостохранилище, Северная Осетия-Алания.

**Для цитирования:** Каманина И. З., Каплина С. П., Чигоева Д. Н. Оценка состояния почвенного покрова в районе Унальского хвостохранилища // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 1, с. 120-127. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/120-127>

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изучение особенностей почвенного покрова в зонах влияния объектов хранения промышленных отходов является особенно актуальным в связи с необходимостью оценки наносимого ими вреда окружающей среде. На территории Садонского рудного района республики Северная Осетия-Алания сформировались обширные техногенные аномалии, связанные с добычей и обогащением полиметаллических руд, которые велись более 160 лет. До момента рекультивации Унальского хвостохранилища тонкодисперсный материал с пляжной зоны хвостохранилища, содержащий большой набор токсичных элементов [9] был опасным

источником аэротехногенного загрязнения почв равнин, пастбищ, сельхозугодий что негативно сказывалось на здоровье населения поселков Зинцар, Архон, Дагом, Унал, Биз и, возможно, Мизур [6, 9]. В Ардонском районе по данным [1] отмечается в 2 раза рост врожденных аномалий у детей.

По оценкам специалистов [11] площадь почв с опасными уровнями загрязнения на территории республики Северная Осетия-Алания составляет 40 км<sup>2</sup>, при этом Садонский горнорудный район является одним из основных районов с высоким уровнем загрязнения почв. Так по данным [3, 14], содержание свинца, цинка, кадмия превышает допустимые в десятки и сотни раз.

© Каманина И. З., Каплина С. П., Чигоева Д. Н., 2024

✉ Каманина Инна Здиславовна, e-mail: [kamanina@uni-dubna.ru](mailto:kamanina@uni-dubna.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Первые комплексные эколого-геохимические исследования в Садонском горнорудном районе, проводимые в 1998-2003 годах позволили установить источники и механизмы техногенного загрязнения компонентов окружающей природной среды. Была показана решающая роль Унальского хвостохранилища Мизурской обогатительной фабрики Садонского свинцово-цинкового комбината в формировании техногенных аномалий свинца в почвах на нижних террасах реки Ардон [12]. Наряду с основным источником загрязнения – ветровой эрозией поверхности Унальского хвостохранилища, негативное воздействие на состояние почвенного покрова по мнению авторов [12] оказывают загрязненные воды реки Уналдон, попадающие в почву через систему арыков, а также грунтовая дорога с интенсивным автомобильным движением. В последующих работах было показано [9], что хвостохранилище является основным постоянно действующим источником сильного техногенного загрязнения тяжелыми металлами прилегающих территорий и представляет постоянную угрозу экологической безопасности региона. В зоне влияния хвостохранилища находятся достаточно ценные в мас-

штабах республики почвенные ресурсы, благоприятные для развития скотоводства, огородничества, садоводства, что ограничивает их использование.

Цель работы: оценить состояния почвенного покрова в зоне влияния Унальского хвостохранилища республики Северная Осетия-Алания.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Опробование почвенного покрова проводилось в 2016-2017 годах до рекультивации Унальского хвостохранилища на двух участках в районе сел Нижний и Верхний Унал в соответствии с существующими нормативными документами.

Первый участок представлен дуговым профилем общей протяженностью около 1400 м на правом берегу реки Ардон согласно простираению Унальского хвостохранилища, всего было заложено 7 площадок опробования (рис. 1). Второй участок располагался в окрестностях горной выработки штольни № 43. Опробование проводилось по основным и промежуточным сторонам света, так называемым румбам, на расстоянии 100, 500 и 1000 м от штольни; всего было заложено 22 площадки (см. рис. 1).



Рис. 1. Схема отбора почвенных образцов  
[Fig. 1. Soil sampling scheme]

При пробоотборе во всех точках регистрировались координаты с помощью системы GPS навигации. Каждая проба представляла собой смешанный образец (из 5 точечных проб), отобранный с площадки 10x10 м методом «конверта», массой не менее 1 кг. Пробы отбирали из верхнего горизонта на глубину 0-10 см – для естественных почв и 0-20 см – для сельскохозяйственных земель. Так же для изучения процесса миграции элементов по почвенному профилю на первом участке было заложено 3 почвенных разреза (р. 1, р. 2, р. 3) из которых было отобрано 17 почвенных образцов (точечных проб). Образцы отбирали по профилю из почвенных горизонтов с таким расчетом, чтобы проба представляла собой часть почвы, типичной для генетического горизонта (изучаемого слоя) данного типа почвы в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83<sup>1</sup>, ГОСТ 17.4.4.02-84<sup>2</sup>.

Для дальнейших аналитических измерений пробы почвы были подвергнуты необходимой стандартной пробоподготовке [2]. Количественный химический анализ (КХА) образцов почвы проводили по следующим показателям: водородный показатель (рН), содержание органического углерода (по методу И.В. Тюрина), содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni). Разложение почвенных образцов для определения валовых форм проводили с помощью микроволновой системы пробоподготовки МС-6, для извлечения подвижных форм использовали ацетатно-аммонийный буферный раствор с рН 4,8. Содержание тяжелых металлов определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «КВАНТ-2А» фирмы НПО «Кортек» с использованием атомизации подготовленной пробы в пламени. Полученные результаты были обработаны методами математической статистики с использованием программных пакетов *Statistica 6.0* и *Microsoft Excel*.

Полученные данные сравнивались с местным геохимическим фоном (Садонский рудный район) [12] и санитарно-гигиеническими нормативами ПДК (ОДК) для почв близких к нейтральным, нейтральных (суглинистых и глинистых), рН КСl > 5,5 в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21<sup>3</sup>. Для оценки уровня загрязнения почв были рассчитаны коэффициент концентрации химических элементов ( $K_c$ ) и суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по формуле:  $Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1)$ , с учетом элементов у которых коэффициент концентрации  $K_c > 1$ . Кроме того, был рассчитан суммарный показатель загрязнения с поправкой на токсичность элементов, предложенной Водяницким Ю.Н. [4]  $Z_{ct} = \sum (K_{ci} \cdot K_{ti} + \dots + K_{cn} \cdot K_{tn}) - (n - 1)$ . Коэффициент токсичности ( $K_t$ ) для Pb, Zn и Cd равен 1,5, для Ni и Cu – 1,0.

Используя полученные данные и в соответствии с документом «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия»<sup>4</sup> дана оценка экологической обстановки на обследованной территории.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Естественные почвы в районе исследования представлены черноземовидными горно-луговыми почвами под злаково-полынной растительностью с преобладанием ксерофитных видов степных сообществ.

Исследуемые почвы на первом участке (дуговой профиль вдоль простираания Унальского хвостохранилища) характеризуются слабощелочной реакцией, значение рН<sub>водн</sub> варьирует незначительно от 7,4 до 7,6. Содержание гумуса изменяется от среднего до очень высокого и составляет от 5,2 до 10,9 %.

Почвы второго участка в районе штольни №43 нейтральные и слабощелочные, рН<sub>водн</sub> составляет от 6,0 до 7,5, более низкие значения рН отмечаются в почвах на расстоянии 1000 м от штольни. Содержание гумуса меняется от «ниже среднего» (3,5 %) до «очень высокого» (17,3 %), при этом отмечается тенденция к увеличению гумусированности при удалении от горной выработки.

Содержание валовых форм свинца в почвах первого участка изменяется в широких пределах от 109 до 1187 мг/кг. Максимальные концентрации (более 1000 мг/кг) значительно превышающие таковые в районе горной выработки (штольня № 43) отмечаются в непосредственной близости от хвостохранилища на расстоянии 250 м от восточной границы. Наименьшее содержание свинца на первом участке отмечается в почвах в пределах административных границ села Унал, используемых для выращивания овощных культур (площадки 1.4 и 1.5) и составляет 126 и 109 мг/кг. В почвах всех пробных площадок первого участка, кроме расположенных в пределах овощных полей, наблюдается превышение ОДК от 1,4 до 9,1 раз. Содержание валовых форм свинца в почвах второго участка (в районе штольни № 43) составляет от 33 до 198 мг/кг. Превышение ОДК отмечается на трех пробных площадках: на расстоянии 200 м в СЗ направлении превышение 1,5 ОДК, 500 м в СВ направлении 1,2 ОДК и в непосредственной близости от отвалов штольни 1,4 ОДК.

Содержание подвижных форм свинца, активно участвующих в биохимических циклах, составляет от 0,52 до 16,46 мг/кг. В 50 % обследованных проб выявлено превышение ПДК. В непосредственной близости от хвостохранилища превышение до 2,7 ПДК, в районе штольни № 43 до 1,8 ПДК. В почвах, используемых под

<sup>1</sup> ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Москва, 2008.

<sup>2</sup> ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Москва, 2008.

<sup>3</sup> СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, 2021.

<sup>4</sup> Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901797511> (дата обращения: 05.03.2023).

овощные культуры содержание подвижных форм свинца относительно ниже ПДК. Доля подвижных форм свинца относительно валовых составляет в среднем 7 %.

В исследуемых почвах отмечается высокое содержание валовых и подвижных форм цинка. Содержание валовых форм цинка на первом участке составляет от 228 до 1102 мг/кг, что превышает установленные ОДК от 1,3 до 5,0 раз. На втором участке содержание валовых форм цинка ниже, от 62 до 539 мг/кг. Превышения ОДК отмечаются в почвах четырех пробных площадок, с максимумом в № 2.9 – 2,5 ОДК. Высокое содержание подвижных форм цинка, превышающее ПДК, отмечается во всех почвах первого участка с максимумом 422 мг/кг (18,3 ПДК) в 250 м на восток от Унальского хвостохранилища (см. рис. 1). В почвах полей под овощными культурами выявлено превышение ПДК подвижных форм цинка до 2,3 раз. На втором участке превышение ПДК подвижных форм цинка отмечается в почвах трех площадок: максимальное (4,1 ПДК) в почвах возле отвалов штольни; 2,9 ПДК в почвах на расстоянии 200 м на СЗ от выхода штольни, и 1,1 ПДК на расстоянии 1000 м на ЮВ.

Доля подвижных форм цинка относительно валовых составляет от 18,6 до 42,9 %, при этом доля подвижных форм относительно валовых значительно выше в почвах с максимальным содержанием цинка.

Содержание валовых форм кадмия в почвах первого участка составляет от 0,94 до 4,81 мг/кг. Выявлены превышения ОДК от 1,1 до 2,4 раза в почвах площадок № 1.1, 1.2, 1.3 и 1.7. На втором участке содержание значительно ниже (0,17-1,64 мг/кг), превышает ОДК не выявлено. Для подвижных форм кадмия в настоящий момент не существует утвержденных нормативов. Однако, следует обратить внимание, что в образцах с превышением ОДК валовых форм кадмия на долю подвижных форм приходится больше половины (от 69 до 77 %).

Содержание валовых форм меди в исследованных почвах составляет от 15,0 до 122,0 мг/кг, что ниже принятых ОДК, превышение фоновое уровня (от 1,7 до 4,4) отмечается во всех почвах первого участка и четырех пробных площадках в районе штольни № 43 (от 1,1 до 2,4 раз). Превышение подвижных форм меди выявлено в почвах двух пробных площадок № 1.2 и № 1.7 (4,6 ПДК, 2,5 ПДК) первого участка. На долю подвижных форм меди приходится от 1,2 до 11,4 % от валовых.

Содержание валовых форм никеля в почвах составляет от 10,0 до 28,9 мг/кг, подвижных форм – от 0,11 до 1,18 мг/кг, что значительно ниже установленных санитарно-гигиенических нормативов ОДК и ПДК. Доля подвижных форм никеля относительно валовых не превышает 7 %.

Таким образом, в почвах первого участка в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища отмечаются аномально высокие концентрации валовых форм свинца, цинка и кадмия в почвах целинных участков. Содержание тяжелых металлов в почвах второго участка значительно ниже и в среднем находится

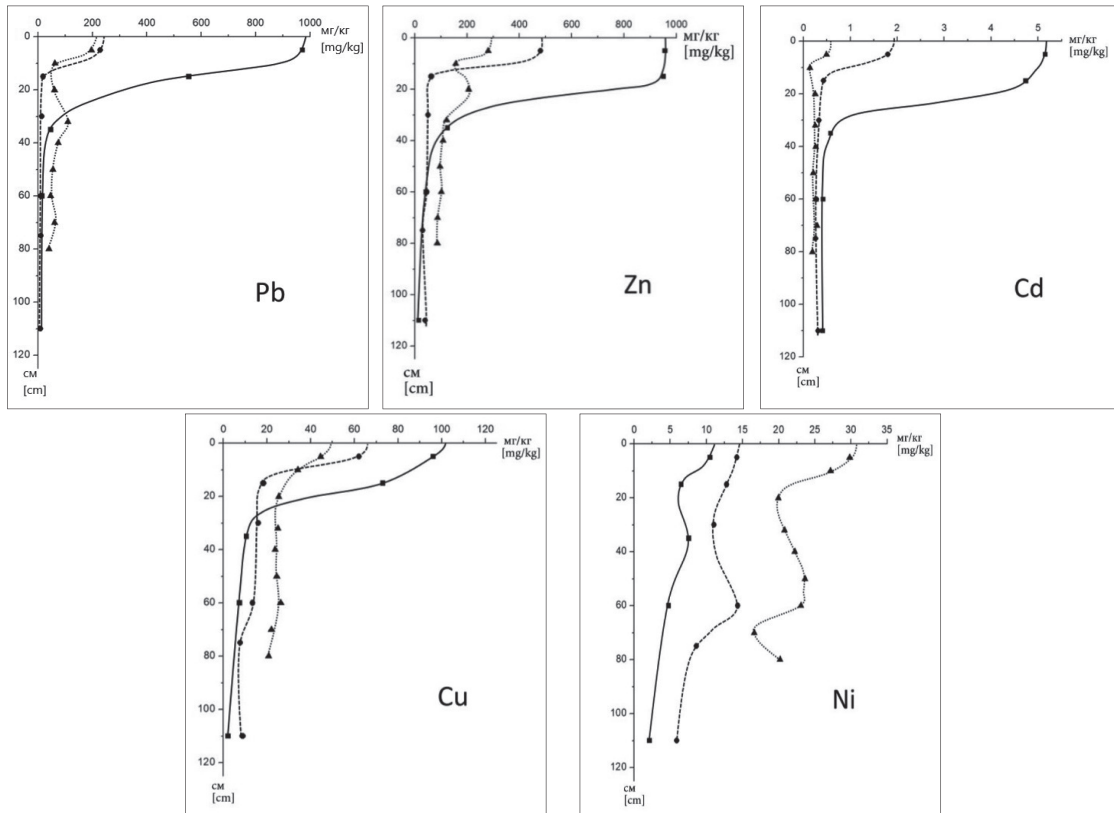
на уровне фоновых значений. Сравнение полученных данных по содержанию тяжелых металлов на различном расстоянии и в разных направлениях от штольни № 43 не выявило каких-либо пространственных закономерностей. При этом максимальное содержание тяжелых металлов, отмечается в точках № 2.22 и № 2.9, расположенных в непосредственной близости от выхода из штольни и в 200 м на СЗ от него. Ранее авторами [10] в исследуемом районе был выявлен небольшой участок с умеренным фитотоксичным действием почв в 100 м на запад от штольни № 43.

Анализ профильного распределения тяжелых металлов в почвах первого участка (дуговой профиль вдоль реки Ардон) показал, что содержание как валовых, так и подвижных форм тяжелых металлов резко убывает с глубиной (рис. 2) и коррелирует с содержанием гумуса в профиле. Высокое содержание гумуса (до 10 %) в верхних горизонтах и слабощелочная реакция среды способствуют закреплению металлов в почвенном профиле. Коэффициент корреляции между содержанием гумуса и содержанием валовых и подвижных форм свинца, цинка и кадмия составил от 0,94 до 0,99. Максимальное содержание валовых форм свинца, цинка, кадмия и меди отмечается в верхних 5 см, что указывает на аэрогенное поступление металлов в почвы. Для никеля такая закономерность не столь выражена, профильное распределение никеля довольно равномерно. Как показали исследования атмосферных выпадений в зоне влияния Унальского хвостохранилища до его рекультивации, проводимые при помощи мхов-биоиндикаторов [8], в исследуемом районе отмечается высокая аэротехногенная нагрузка, о чем свидетельствует обилие пылеватых частиц на поверхности мха, содержащих свинец и другие токсичные элементы.

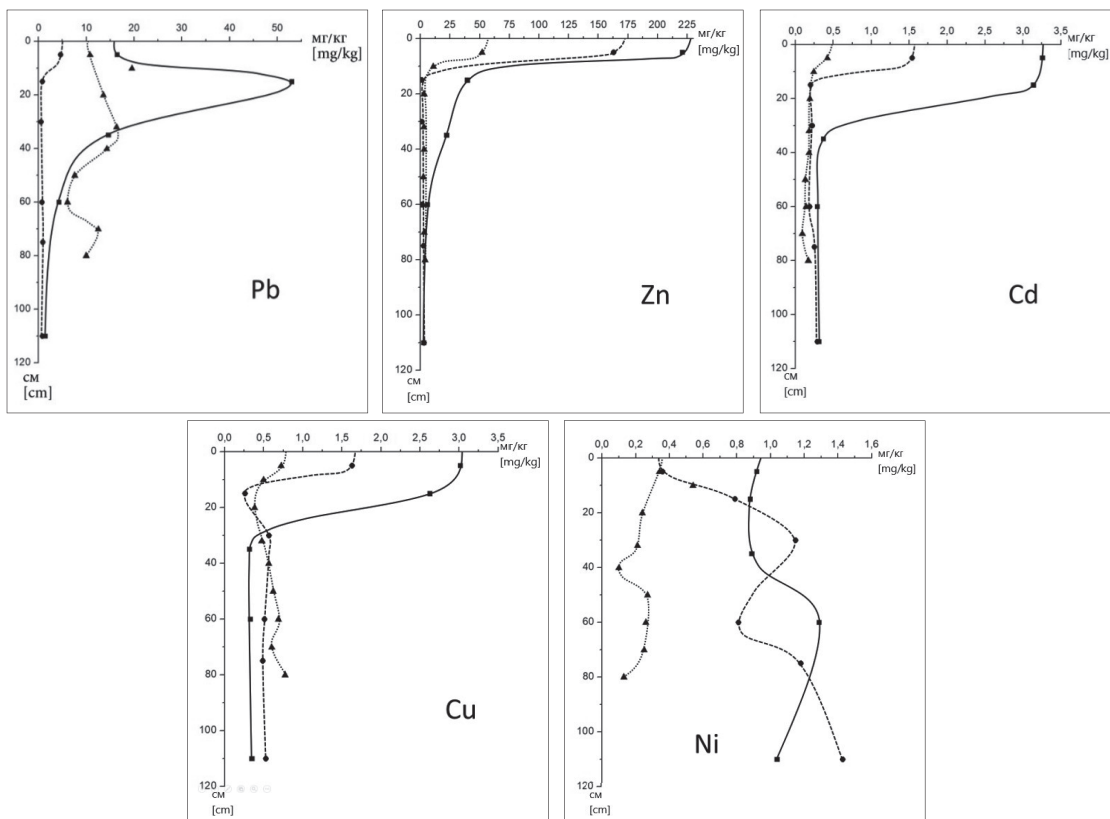
Для оценки экологического состояния территории при полиэлементном загрязнении использовали суммарный показатель Zc.

Как показали расчеты уровень загрязнения почв снижается по мере удаления от хвостохранилища. Опасному уровню загрязнения соответствуют почвы площадок 1.1, 1.2 и 1.7. В почвах площадки 1.3 выявлен умеренно опасный уровень загрязнения. На площадках пробоотбора 1.4, 1.5 и 1.6 (почвы полей под овощными культурами), а также всех обследованных почв в районе штольни № 43 категория загрязнения характеризуется как допустимая.

По суммарному показателю загрязнения, рассчитанному с учетом поправки на токсичность элементов почвы площадки 1.3 из категории умеренно опасного загрязнения перешли в категорию опасного загрязнения, а почвы площадки 1.6 и 2.9 из категории допустимого в категорию умеренно опасного загрязнения. Как было показано в работе [5] суммарный показатель загрязнения почв урбанизированных территорий, рассчитанный с учетом расширенного перечня следовых элементов, увеличивается в среднем на 15 единиц, что соответствует как правило более высокой категории



а) валовые формы: .....▲..... разрез р. 1; ---●--- разрез р. 2; —■— разрез р. 3  
 а) gross forms: .....▲..... soil profile p. 1; ---●--- soil profilep. 2; —■— soil profile p. 3



б) подвижные формы: .....▲..... разрез р. 1; ---●--- разрез р. 2; —■— разрез р. 3  
 б) mobile forms: .....▲..... soil profile p. 1; ---●--- soil profilep. 2; —■— soil profile p. 3

Рис. 2. Профильное распределение тяжелых металлов в почвах: а) валовых форм; б) подвижных форм  
 [Fig. 2. Profile distribution of heavy metals in soils: а) gross forms; б) mobile forms]

загрязнения. В связи с тем, что основным источником загрязнения почв в исследуемом районе являются аэротехногенные выпадения тонкодисперсного материала отходов Унальского хвостохранилища до его рекультивации. В составе хвостов наряду с исследованными элементами 1 и 2 классов опасности (Pb, Zn, Cd, Cu), для которых разработаны ПДК (ОДК), в концентрациях в сотни и тысячи раз превышающих кларковые значения, содержатся такие элементы как As, S, Sb, Se, Ag, In и др. [9]. Почвы, как депонирующая среда, накапливают и длительное время удерживают токсичные элементы. Вероятно, необходимо корректировать величину Зс учетом всех элементов входящих в состав техногенной аномалии Унальского хвостохранилища.

Суммарный показатель химического загрязнения (Zс) является одним из основных критериев для оценки экологического благополучия селитебных территорий<sup>5</sup>. Критерием для выделения зоны экологического бедствия на селитебных территориях является величина суммарного показателя загрязнения более 128, для выделения зоны чрезвычайной экологической ситуации суммарный показатель загрязнения составляет от 32 до 128. Таким образом, территория пробных площадок 1.1 и 1.2 в непосредственной близости от хвостохранилища, а также 1.7 в районе села Нижний Унал соответствует чрезвычайной экологической ситуации.

При оценке степени изменения природной среды в результате хозяйственной деятельности критериями для выделения зоны экологического бедствия является превышение ПДК химических веществ 1-го класса опасности в почве более чем в 3 раза, веществ 2-го класса опасности более чем в 10 раз. Для выделения зоны чрезвычайной экологической ситуации превышение ПДК химических веществ 1-го класса опасности в 2-3 раз, веществ 2-го класса опасности в 5-10 раз. В соответствии с критериями<sup>5</sup> рекомендовано в первую очередь оценивать в почве превышение ПДК подвижных форм. Таким образом, вся территория первого участка, за исключением почв под сельскохозяйственными культурами (площадки № 1.4 и 1.5) относится к зоне экологического бедствия по уровню загрязнения подвижными соединениями цинка. Площадки 1.4 и 1.5 относятся к зоне чрезвычайной экологической ситуации. На втором участке экологическому бедствию по уровню загрязнения почв подвижными соединениями цинка относится площадка № 2.22 (выход штольни № 43), чрезвычайной экологической ситуации соответствует площадка № 2.9 в 200 м на СЗ от штольни.

#### ВЫВОДЫ

В почвах в зоне влияния Унальского хвостохранилища выявлены аномально высокие содержание валовых форм свинца (1130 мг/кг), цинка (1102 мг/кг), кадмия (4,8 мг/кг). В почвах в районе горной выработ-

ки содержание валовых форм металлов значительно ниже. Максимальное содержание валовых форм свинца, цинка, кадмия и меди отмечается в верхних 5 см, что указывает на аэрогенное поступление металлов в почвы. Часть обследованной территории в зоне влияния Унальского хвостохранилища по уровню загрязнения почв относится к зоне экологического бедствия и чрезвычайной экологической ситуации. При этом следует отметить, что содержание тяжелых металлов в почвах, используемых для выращивания овощных культур значительно ниже чем в почвах других обследованных площадок первого участка, что связано с регулярной обработкой и перемещением верхних загрязненных слоев почвы на всю глубину обработки. Кроме того, часть элементов извлекается из почвы с урожаем. В связи с этим целесообразно обратить внимание на безопасность выращиваемой на территории с. Унал сельскохозяйственной продукции. Необходимо проводить постоянный мониторинг загрязнения почв в зоне влияния Унальского хвостохранилища, расширив перечень контролируемых токсичных элементов за счет тех, содержание которых в составе хвостов значительно превышает кларковые значения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авлохова И.З., Бадов А.Д. Заболеваемость населения по районам Северной Осетии // *Вестник Регионального отделения Русского Географического общества в Республике Северная Осетия-Алания*, 2011, № 14, с. 5-9.
2. Ариушкина Е.В. *Руководство по химическому анализу почв*. Москва: издательство МГУ, 1970. 487 с.
3. Влияние хвостохранилищ на окружающую среду горнодобывающего региона / В.И. Голик, Ю.В. Дмитрак, В.С. Сергеев, В.В. Вернигор // *Экология и промышленность России*, 2018, т. 22, № 6, с. 44-48.
4. Водяницкий Ю.Н. *Тяжелые металлы и металлоиды в почвах*. Москва: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 85 с.
5. Геохимическая оценка почв рекреационных зон Москвы / М.С. Швецова, И.З. Каманина, И. Зиньковская и др. // *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*, 2022, № 3, с. 85-92.
6. Загрязнение прилегающих территорий в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (Республика Северная Осетия-Алания, РФ) / А.Б. Лолаев, А.Г. Гурбанов, С.О. Дзедобов, В.Э. Илаев // *Успехи современной науки*, 2017, т. 6, № 2, с. 177-181.
7. Изучение и анализ влияния экологии на распространённость онкологических заболеваний в РСО-Алания / Ю.С. Габеева, С.А. Парфейников, И.Н. Андреева и др. // *Современные тенденции развития науки и технологий*, 2015, № 9-2, с. 17-21.
8. Изучение поверхности мхов-биоиндикаторов в условиях разной техногенной нагрузки / И.З. Каманина, С.П. Каплина, И.И. Виноградов, Д.Н. Чигоева // *Научное обозрение. Биологические науки*, 2021, № 4, с. 5-12.
9. Использование ядерно-физических методов для анализа отходов горно-обогатительной промышленности на примере Унальского хвостохранилища / И.З. Каманина,

<sup>5</sup> Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия, утв. Минприроды РФ 30.11.1992. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901797511> (дата обращения: 07.03.2023).

Н. Е. Пухаева, М. В. Густова и др. // *Успехи современного естествознания*, 2018, № 7, с. 142-150.

10. Каманина И. З., Каплина С. П., Чигоева Д. Н. Определение токсичности почв в зоне влияния горнодобывающей промышленности // *Научное обозрение. Биологические науки*, 2021, № 3, с. 21-26.

11. Касимов Н. С., Власов Д. В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 2018, № 3, с. 14-22.

12. Пряничникова Е. В. Эколого-геохимические исследования в горнорудных районах (на примере Северной Осетии) // *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология*, 2005, № 2, с. 48-54.

13. Шестакова А. В. Экологические проблемы городских поселений Северной Осетии // *Материалы международной научно-практической конференции «Наука сегодня: теоретические и практические аспекты»*, 2018, с. 189-190.

14. Экологические аспекты хранения хвостов обогащения руд в горном регионе / В. И. Голик, Ю. В. Дмитрак, В. И. Комащенко, Ю. И. Разоренов // *Экология и промышленность России*, 2018, т. 22, № 6, с. 35-39.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 20.03.2023

Принята к публикации: 01.03.2024

UDC 504.064.2

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/120-127>

## Assessment of Soil Cover State in the Area of the Unalsky Tailings Dump

I. Z. Kamanina<sup>1,2</sup>✉, S. P. Kaplina<sup>1,2</sup>, D. N. Chigoeva<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Dubna State University, Russian Federation  
(19, Universitetskaya str., Dubna, 141980)

<sup>2</sup>Joint Institute for Nuclear Researches, Russian Federation  
(6, Joliot-Curie str., Dubna, 141980)

<sup>3</sup>Kirovsk branch of Samoilov research institute for fertilizers and insectofungicides,  
Russian Federation (3, Leningradskaya str., Kirovsk, 184250)

**Abstract.** The purpose is to assess the state of soil cover in the zone of influence of the Unal tailings dump in the Republic of North Ossetia-Alania.

**Materials and methods.** Soil sampling was taken in 2016-2017 prior to the Unalsky tailings dump reclamation at two sites near Nizhny and Verkhnny Unal villages in accordance with the existing regulatory documents. Hydrogen index (pH), humus content, gross and mobile forms of heavy metals of hazard classes 1 and 2 (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni) were determined in soils. Sanitary-hygienic and ecological-geochemical indicators were used to assess the level of soil contamination.

**Results and discussion.** An abnormally high content of gross forms of Pb (up to 1187 mg/kg), Zn (up to 1102 mg/kg), Cd (up to 4.81 mg/kg) was detected in the area of the Unalsky tailings dump. In the area of tunnel No. 43, the content of gross forms of heavy metals is significantly lower and on average is at the level of background values. The content of the gross forms of Cu and Ni does not exceed the established UEC. In 50% of the examined samples, an excess of the MPC of mobile forms of Pb was detected (up to 2.7 MPC). The excess of the MPC of mobile forms of Zn (up to a maximum of 18.3 MPC) is observed in all soils in the area of the tailings dump and at three sites in the mining area (up to 4.1 MPC). The excess of mobile forms of Cu (up to 4.6 MPC) was detected in the soils of two test sites in the area of the tailings dump. The content of mobile forms of Ni is significantly lower than the established MPC. The content of both gross and mobile forms of heavy metals decreases sharply with depth and correlates with the humus content in the profile. According to the total pollution indicator, more than half of the surveyed soils in the area of the Unalsky tailings dump correspond to a moderately dangerous and to a dangerous level of pollution. For all surveyed soils in the area of tunnel No. 43, as well as fields under vegetable crops in the area of the tailings dump, the pollution category is characterized as permissible.

**Conclusion.** Part of the studied area in the zone of influence of the Unalsky tailings dump in level of soil pollution belongs to the zone of environmental disaster and environmental emergency.

**Key words:** pollution, soil, heavy metals, Unalsky tailing dump, Republic of North Ossetia-Alania.

**For citation:** Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Chigoeva D. N. Assessment of Soil Cover State in the Area of the Unalsky Tailings Dump. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 1, p. 120-127. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/120-127>



REFERENCES

1. Avlokhova I.Z. Badov A.D. Zabolevaemost' naselenija po rajonom Severnoj Osetii [Morbidity rate of the population by regions of North Ossetia]. *Vestnik Regional'nogo otdelenija Russkogo Geograficheskogo obshhestva v Respublike Severnaja Osetija-Alanija*, 2011, no. 14, pp. 5-9. (In Russ.)
2. Arinushkina E. V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Guide to chemical analysis of soils]. Moscow: izdatel'stvo MGU, 1970. 487 pp. (In Russ.)
3. Vlijanie hvostohranilishh na okruzhajushhiju sredu gornodobyvajushhego regiona [Impact of tailings dumps on the environment of the mining region] / V.I. Golik, Ju. V. Dmitrak, V. S. Sergeev, V. V. Vernigor. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 44-48. (In Russ.)
4. *Vodjanickij Ju. N. Tjazhelye metally i metalloidy v pochvah* [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow: GNU Pochvennyj institut im. V. V. Dokuchaeva RASHN, 2008. 85 p. (In Russ.)
5. Geohimicheskaja ocenka pochv rekreacionnyh zon Moskvy [Geochemical assessment of soils in recreational areas of Moscow] / M. S. Shvecova, I. Z. Kamanina, I. Zin'kovskaja i dr. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 17. Pochvovedenie*, 2022, no. 3, pp. 85-92. (In Russ.)
6. Zagraznenie prilegajushhijh territorij v rajone dejatel'nosti Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata (Respublika Severnaja Osetija-Alanija, RF) [Pollution of adjacent territories in the area of activity of the Sadonsk lead-zinc plant (Republic of North Ossetia-Alania, Russian Federation)] / A. B. Lolaev, A. G. Gurbanov, S. O. Dzeboev, V. Je. Ilaev. *Uspehi sovremennoj nauki*, 2017, vol. 6, no. 2, pp. 177-181. (In Russ.)
7. Izuchenie i analiz vlijanija jekologii na rasprostranennost' onkologicheskijh zabolevanij v RSO-Alanija [Study and analysis of the influence of ecology on the prevalence of cancer in North Ossetia-Alania] / Ju. S. Gabeeva, S. A. Parfejnikov, I. N. Andreeva i dr. *Sovremennye tendencii razvitiya nauki i tehnologii*, 2015, no. 9-2, pp. 17-21. (In Russ.)
8. Izuchenie poverhnosti mhov-biomonitorov v uslovijah raznoj tehnogennoj nagruzki / I. Z. Kamanina, S. P. Kaplina, I. I. Vinogradov, D. N. Chigoeva [Study of the surface of moss biomonitors under conditions of different anthropogenic loads]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*, 2021, no. 4, pp. 5-12. (In Russ.)
9. Ispol'zovanie jaderno-fizicheskijh metodov dlja analiza othodov gorno-obogatitel'noj promyshlennosti na primere Unal'skogo hvostohranilishha [The use of nuclear physical methods for the analysis of waste from the mining and processing industry using the example of the Unal tailings dump] / I. Z. Kamanina, N. E. Puhaeva, M. V. Gustova i dr. *Uspehi sovremenno estestvoznaniya*, 2018, no. 7, pp. 142-150. (In Russ.)
10. Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Chigoeva D. N. Opredelenie toksichnosti pochv v zone vlijanija gornodobyvajushhej promyshlennosti [Determination of soil toxicity in the zone of influence of the mining industry]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*, 2021, no. 3, pp. 21-26. (In Russ.)
11. Kasimov N. S., Vlasov D. V. Tjazhelye metally i metalloidy v pochvah rossijskijh gorodov (po dannym ezhegodnyh dokladov Rosgidrometa) [Heavy metals and metalloids in the soils of Russian cities (according to annual reports of Roshydromet)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 5. Geografija*, 2018, no. 3, pp. 14-22. (In Russ.)
12. Prjanichnikova E. V. Jekologo-geohimicheskije issledovanija v gornorudnyh rajonah (na primere Severnoj Osetii) [Ecological and geochemical studies in mining areas (using the example of North Ossetia)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 4. Geologija*, 2005, no. 2, pp. 48-54. (In Russ.)
13. Shestakova A. V. Jekologicheskie problemy gorodskijh poselenij Severnoj Osetii [Environmental problems of urban settlements in North Ossetia]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii «Nauka segodnja: teoreticheskie i prakticheskie aspekty»*, 2018, pp. 189-190. (In Russ.)
14. Jekologicheskie aspekty hranenija hvostov obogashhenija rud v gornom regione [Environmental aspects of ore tailings storage in a mountainous region] / V. I. Golik, Ju. V. Dmitrak, V. I. Komashhenko, Ju. I. Razorenov. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 35-39. (In Russ.)

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 20.03.2023  
Accepted: 01.03.2024

Каманина Инна Здиславовна  
доцент кафедры экологии и наук о Земле факультета естественных и инженерных наук государственного университета «Дубна», г. Дубна, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9186-8689, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Каплина Светлана Петровна  
доцент кафедры экологии и наук о Земле факультета естественных и инженерных наук государственного университета «Дубна», г. Дубна, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-1323-6349, e-mail: sv\_kap@mail.ru

Чигоева Дзерасса Нугзаровна  
ведущий инженер Научно-исследовательского института по удобрениям и инсектофунгицидам им. профессора Я. В. Самойлова, г. Кировск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2577-5641, e-mail: dzerkachigoeva@yandex.ru

Inna Z. Kamanina  
Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof. at the Department of Ecology and Earth Sciences, Faculty of Natural and Engineering Sciences, Dubna State University, Dubna, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9186-8689, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Svetlana P. Kaplina  
Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof. at the Department of Ecology and Earth Sciences, Faculty of Natural and Engineering Sciences, Dubna State University, Dubna, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-1323-6349, e-mail: sv\_kap@mail.ru

Dzerassa N. Chigoeva  
Leading Engineer at the Research Institute for Fertilisers and Insectofungicides named after Professor Y. V. Samoilov, Kirovsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2577-5641, e-mail: dzerkachigoeva@yandex.ru