

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗАЛЕЖНЫХ ПОЧВАХ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (ОКРЕСТНОСТИ Г. УЛАН-УДЭ)

*Л.Д. Балсанова¹, Б.Б. Найданов²

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Россия, Улан-Удэ

² Байкальский филиал ФГБУ ВНИИКР «Всероссийский центр карантина растений»,
Россия, Иркутск
e-mail: *balsanova@mail.ru

Актуальность изучения экологического состояния залежных земель связана с их восстановлением и перспективами использования в сельскохозяйственном производстве. Приведены результаты исследований, включающих содержание тяжелых металлов в почвах залежи в окрестностях г. Улан-Удэ с различным типом землепользования. Исследованные почвы характеризуются низким содержанием физической глины и гумуса. Концентрации тяжелых металлов в почвах не превышают ПДК независимо от направления землепользования. Выявлено накопление Zn, Cu, Ni, обусловленное расположением залежи вблизи полигона ТБО.

Ключевые слова: тяжелые металлы, накопление, залежь, агрозем.

Введение

Использование огромных площадей залежных земель в нашей стране является частью эффективного управления агроландшафтами. Их современное освоение связано с вовлечением постагрогенных ландшафтов в качестве сенокосов, пастбищ и возвратом в активный сельскохозяйственный оборот. Часть таких ландшафтов использована под объектами промышленности и инфраструктуры, застройками разрастающихся населенных пунктов. Пригодность и целесообразность возвращения залежных земель обусловлена их экологическим состоянием, связанным с процессами сукцессионного механизма восстановления экосистем и динамикой изменения свойств постагрогенных почв. Замедление восстановительных процессов в растительных сообществах может быть связано с процессом закоривания [1], тогда как изменения свойств почв обусловлены их генетическим типом, возрастом залежи и режимом использования [2]. Экологическое состояние почв агроландшафтов может быть связано с их загрязнением. К одним из опасных относится загрязнение тяжелыми металлами (ТМ), источниками которых могут быть атмосферные выбросы промышленных предприятий, автотранспорта, средства химизации сельского хозяйства [3-7]. Загрязнение почв сельскохозяйственных земель может существенно оказывать влияние на их бонитировочную оценку [8]. Актуальность работы обусловлена отсутствием информации об экологическом состоянии залежных почв в окрестностях г. Улан-Удэ. Полученные результаты могут получить практическое применение в планировании использования сельскохозяйственных земель и оценке их агрономического потенциала, в оценке дальнейшего рационального использования земельных ресурсов.

Цель исследования: выявить содержание тяжелых металлов в почвах залежей при разном типе землепользования в окрестностях г. Улан-Удэ.

Материалы и методы

Объектом исследований послужили почвы залежного участка, расположенного в 12 км к югу от г. Улан-Удэ, Республики Бурятия в урочище Березняк (рис. 1). Площадь залежи составляет 10 га и относится к старовозрастной (более 30 лет). На участке заложены три площадки с разным типом их использования: 1) площадка вблизи дороги без твердого

покрытия с лапчатково-венечно-полынной растительностью; 2) площадка естественного лесовозобновления с сосной обыкновенной; 3) площадка вблизи карьера с группировкой пионерных растений (рис. 2). Залежный участок исследований расположен в непосредственной близости от полигона под твердые бытовые отходы (ТБО). Полигон является самым крупным в Республике Бурятия с общей площадью 30,2 га. В зоне его складирования размещено более 300 тыс. м³ отходов [9].

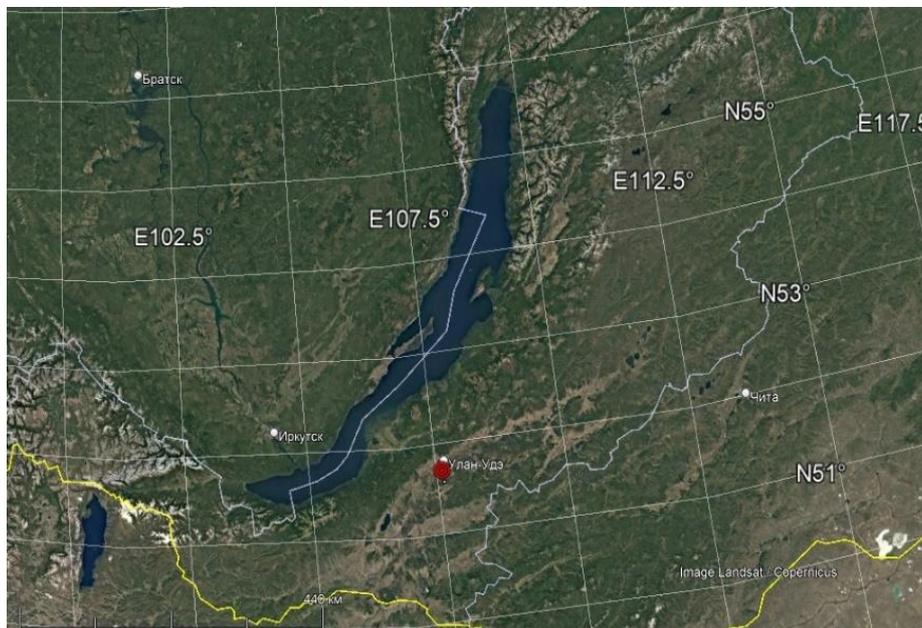


Рисунок 1 – Карта-схема расположения участка исследований в Западном Забайкалье вблизи г. Улан-Удэ

Примечание: красная точка – участок исследования.

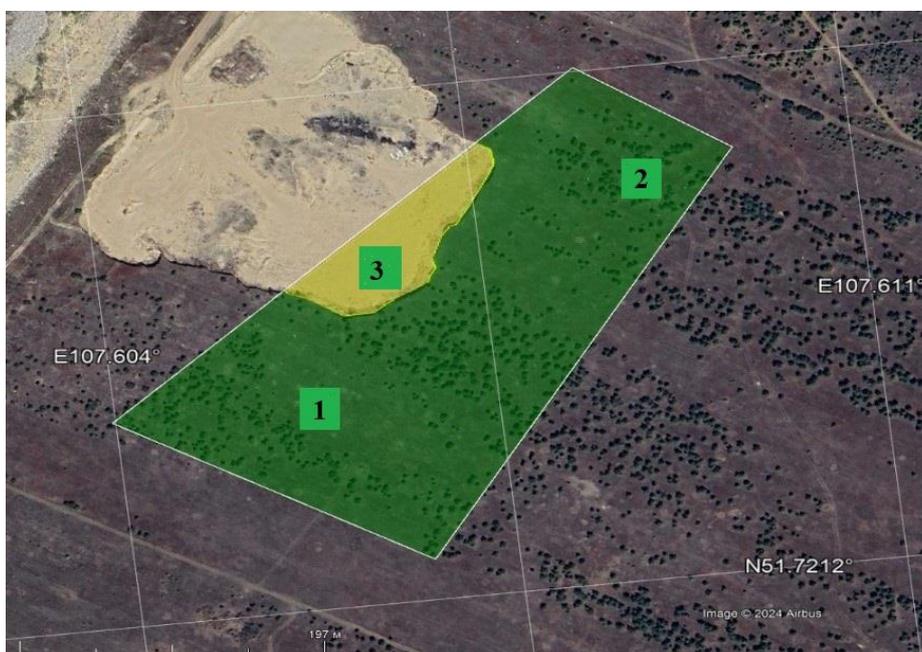


Рисунок 2 – Карта-схема расположения площадок на участке исследований в урочище Березняк

Примечание: метки: 1, 2, 3 – ключевые площади, места закладки почвенных разрезов и выполнения геоботанических описаний. Зеленый контур: залежная растительность: лапчатково-венечно-полынная и с сосной обыкновенной. Желтый контур: группировки пионерных растений с преобладанием полыни венечной.

Урочище Березняк в геоморфологическом отношении расположено на предгорной равнине низкогорных останцовых гор северо-западных отрогов хребта Цаган-Дабан в лесостепной зоне. К склонам световых экспозиций и наветренной открытой западной части низковысотных отрогов хребта приурочены сосняки и остепненные ксерофитно-травянистые сообщества. Климат района исследований резко континентальный, засушливый. Среднегодовые температуры – от минус 1,4 до минус 2,8°C. Среднегодовое количество осадков составляет 230-260 мм. Почвообразующие породы представлены аллювиально-пролювиальными четвертичными песчаными отложениями.

Для исследования почв использовались морфологические и лабораторно-аналитические методы. Диагностика и выявление классификационного положения почв проводились согласно принципам, изложенным в современной «Классификации и диагностике почв России» [10]. Валовое содержание тяжелых металлов (Zn, Cu, Ni, Pb) определено в испытательной лаборатории Республиканского аналитического центра на спектрометре «Prodigy Plus». Для оценки степени накопления ТМ в образцах использованы средние региональные значения элементов в почвах [11]. Для выявления поступления ТМ на поверхность почвы применен коэффициент радиальной дифференциации поллютантов (R) относительно почвообразующей породы:

$$R = \frac{Ca}{Cc}, \quad (1)$$

где Ca и Cc – содержание металла в верхнем и нижнем горизонтах [12]. Гранулометрический состав определен с помощью лазерно-дифракционного метода на анализаторе размера частиц Analysette-22, рН – потенциометрическим методом [13].

Выделение типов растительности произведено на основе доминантного подхода. При геоботаническом описании растительных сообществ выделялись пробные площади размером 100 м², визуально однородные по составу и структуре. На площадках определяли общее проективное покрытие растительности и высоту растений. Обработка геоботанических описаний и анализ флоры произведены с использованием интегрированной ботанической информационной системы IBIS [14].

Результаты и обсуждение

Площадка № 1, расположенная вблизи дороги без твердого покрытия, характеризуется преобладанием лапчатково-венечно-полынной растительности с высоким проективным покрытием до 80 % и высотой травостоя до 70 см. В травостое доминируют *Artemisia scoparia*, *Potentilla longifolia*, *Vicia nervata*. Здесь заложен почвенный разрез с агроземом светлым. В морфологическом строении профиля диагностируется агрогумусовый горизонт (Р) серовато-бурого цвета с комковатой структурой, залегающий на рыхлой почвообразующей породе. Ровная граница между горизонтами с уплотненным сложением и «плужной подошвой» является признаком сельскохозяйственного использования (рис. 3а). Горизонты не вскипают при воздействии 10 % HCl, имеют легкосуглинистый и песчаный гранулометрический состав, рН – 5,6-5,8.

Площадка № 2 с активным естественным лесовозобновлением сосной обыкновенной формирует лесостепные фитоценозы. В составе травяного покрова среди сосны обыкновенной встречаются виды растений, характерные для лесостепного комплекса: *Cleistogenes squarrosa*, *Dendranthema zawadskii*, *Heteropappus altaicus*, *Hieracium umbellatum*, *Poa botryoides* и др. Также отмечаются растения сорных и нарушенных местообитаний: *Isatis oblongata*, *Kochia scoparia* и др.

Профиль заложенного здесь агрозема светлого по морфологическим признакам имеет схожее строение с почвой на площадке № 1 (рис. 3б). Показатели рН в верхнем горизонте составляют 7,0, в нижнем – 6,3.

Площадка № 3, расположенная вблизи карьера под ТБО, отличается разреженным травостоем, сформированным прежде всего видами растений из окружающих фитоценозов.

Характерной растительностью являются группировки пионерных растений с преобладанием полыни венечной, достигающей до 10 % проективного покрытия. Отмечены растения песчаных местообитаний: *Corispermum sibiricum*, *Hippophae rhamnoides* и др.

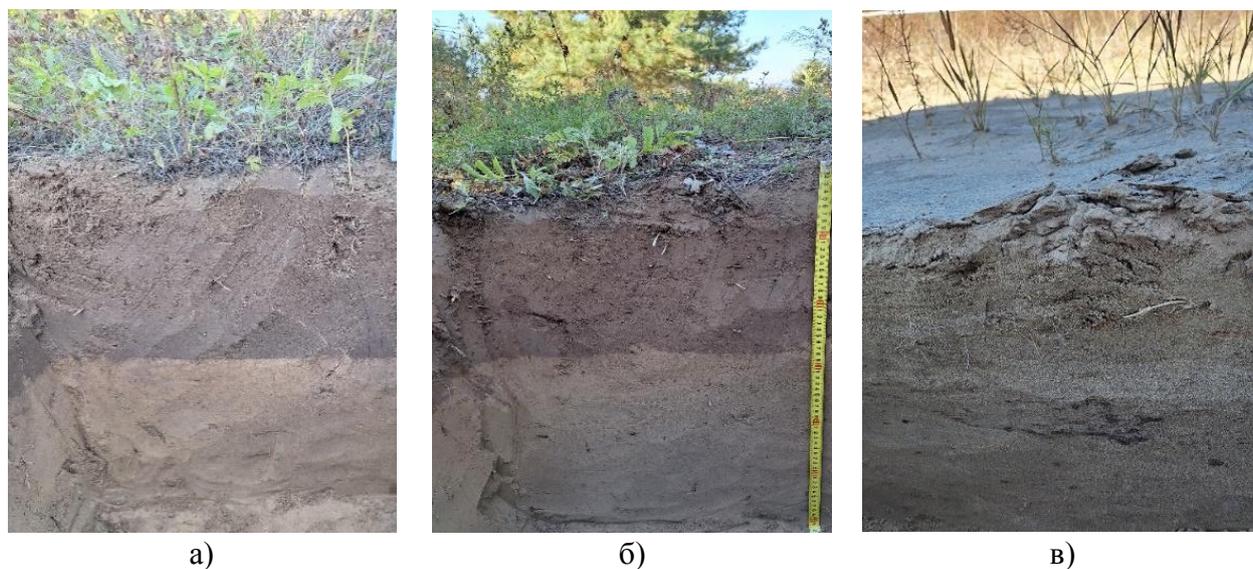


Рисунок 3 – Профили почв

Примечание: а) профиль агрозема на площадке № 1; б) профиль агрозема на площадке № 2; в) профиль абралита на площадке № 3.

Заложенный здесь почвенный профиль отличается нарушенным строением, в котором отсутствует верхний горизонт Р (рис. 3в). Ниже залегающий песчаный субстрат имеет включения охристых и бурых пятен, до глубины 20 см характеризуется уплотненным строением. Подобные профили почв, состоящие из природного или специфического новообразованного субстрата, относятся к техногенным поверхностным образованиям (ТПО). В систематике ТПО поверхностные образования, лишенные гумусированного слоя, состоящие из вскрытого минерального материала и не утратившие своего естественного залегания, относят к абралитам [10]. По свойствам песчаная толща абралита характеризуется щелочной реакцией среды (8,2-8,6) и песчаным гранулометрическим составом.

Исследованные почвы обеднены физической глиной и гумусом (табл. 1), обуславливающих низкое содержание поллютантов и запасов ТМ в песчаных почвах [15]. Значения ТМ в почвах не превышают кларковые и средние для почв Юго-Западного Забайкалья. Содержание Cu и Pb в 1,5-2 раза ниже средних региональных фоновых. Близки к таковым значения концентрации Zn в верхнем гумусовом горизонте агроземов, что обусловлено гумусированностью, при которой органическое вещество прочно связывает металл. Несколько повышенное содержание Ni по сравнению с фоновыми показателями отмечено по всему профилю агроземов. Источниками поступления никеля могут быть как выбросы предприятий металлургии и приборостроения, осадки сточных вод, так и сжигание бытовых отходов, что в условиях полигона ТБО происходит нередко.

О поступлении и накоплении в почвах ТМ извне свидетельствует их содержание в почвенной толще, намного превышающее содержание в почвообразующей породе. Последняя отличается их обедненностью. На глубине 100-200 см в песчаных отложениях района исследований содержание ТМ ниже в 1,5 раза (кроме Pb), чем в профиле почв, что объясняется тем, что отложения состоят главным образом из кварца. В их микроморфологическом строении содержание кварца достигает 70-75 % [16].

Абралиты отличаются низкими показателями содержания ТМ по сравнению с агроземами. Лишенные верхнего гумусового горизонта, абралиты слабо аккумулируют ТМ. Тем не менее, их концентрации незначительно выше, чем в отложениях района исследования.

Это связано с их расположением с наветренной стороны относительно полигона. Здесь, по исследованиям О.Н. Чудиновой, С.Ж. Гулгенова (2023), в почвах на границе полигона ТБО наблюдалось превышение фоновых значений по Cu, Zn, Pb.

Таблица 1 – Содержание ТМ в почвах

Тип почвы	Содержание ТМ, мг/кг					Гумус, %	Физическая глина, %
	Горизонт, см	Zn	Cu	Ni	Pb		
Площадка № 1							
Агрозем светлый	Р (0-30)	76,5	17,5	28,4	15,2	1,8	21,2
	С (30-63)	63,0	16,4	29,8	14,4	0,5	17,4
Площадка № 2							
Агрозем светлый	Р (0-27)	69,4	15,8	28,1	15,4	1,7	20,1
	С (27-61)	58,6	14,0	28,7	12,0	0,4	13,6
Площадка № 3							
Абралит	С (0-30)	43,3	10,0	19,5	12,0	0,2	5,3
Почво-образующая порода	С2 (100-200)	41,0	9,6	18,6	13,0	-	5,1
Средние значения в почвах Юго-Западного Забайкалья		75,6	23,3	26,8	33,9	-	-
Кларки		83,0	47,0	58,0	16,0	-	-
ПДК		100,0	55,0	85,0	30,0	-	-

Рассчитанный коэффициент радиальной дифференциации поллютантов (R) относительно почвообразующей породы отражает накопление ТМ (табл. 2). Согласно методике, $R > 1$ свидетельствует о загрязнении и техногенном накоплении ТМ в почве [12]. Накопление элементов в почвах прослеживается по всему профилю и связано не только с аккумуляцией в поверхностном горизонте, но и с минеральной частью. В агрогумусовом горизонте почв выявлено наибольшее загрязнение цинком и медью, содержание которых коррелирует с показателями гумуса и содержанием физической глины. Тесная корреляционная связь наблюдается между содержанием Zn и гумуса ($r = 0,87$) и содержанием физической глины ($r = 0,98$); Cu и гумуса ($r = 0,71$) и содержанием физической глины ($r = 0,97$), что обусловлено их закреплением в составе гумусовых соединений в илистых фракциях. Содержание Ni и Pb носит равномерный характер по всему профилю почв. В отличие от никеля, свинец несколько накапливается в агрогумусовом горизонте, что обусловлено его способностью образовывать комплексы с органическими соединениями.

Таблица 2 – Коэффициенты радиальной дифференциации (R) ТМ относительно почвообразующей породы

Название почв	Горизонты почв, см	Zn	Cu	Ni	Pb
Площадка № 1					
Агрозем светлый	Р (0-30)	1,86	1,82	1,52	1,16
	С (30-63)	1,53	1,70	1,60	1,10
Площадка № 2					
Агрозем светлый	Р (0-27)	1,69	1,64	1,51	1,18
	С (27-61)	1,42	1,45	1,54	0,92
Площадка № 3					
Абралит	С (0-30)	1,05	1,04	1,04	0,92

Концентрации изученных ТМ во всех почвах, в зависимости от разного типа их использования, не превышают ПДК, и почвы не являются загрязненными. Тенденции к их накоплению все же наблюдаются. Этому во многом способствует расположение данного участка залежи вблизи полигона ТБО.

Выводы

1. Изученные почвы залежного участка представлены агроземами светлыми. Почвы, лишенные гумусированного слоя, перешли в разряд ТПО – абралиты.
2. Содержание ТМ в почвах не превышает кларковых и средних региональных фоновых значений, за исключением никеля. Источником его поступления, вероятнее всего, является сжигание бытовых отходов.
3. Концентрации ТМ не превышают ПДК, но обнаружены тенденции к накоплению Zn, Cu, Ni.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного проекта ИОЭБ СО РАН № 121030100228-4; в рамках темы Байкальского филиала ФГБУ ВНИИКР «Всероссийский центр карантина растений» «Определение сроков давности нахождения земель сельскохозяйственного назначения в залежном состоянии на территории Иркутской области и Республики Бурятия по составу растительного покрова».

Список литературы

1. Гунин П.Д., Убугунов В.Л., Рупышев Ю.А., Убугунова В.И., Бажа С.Н., Балсанова Л.Д., Балданов Б.Ц., Буянтуева Л.Б., Харпухаева Т.М., Холбоева С.А., Петухов И.А., Цыремпилов Э.Г. О роли биотических и абиотических факторов в процессах закоривания почв залежных земель Баргузинской котловины // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 3 (76). С. 11-24.
2. Сорокина О.А., Токавчук В.В., Рыбакова А.Н. Постагrogenная трансформация серых почв залежей. Красноярск: КрасГАУ, 2016. 239 с.
3. Борисочкина Т.И., Водяницкий Ю.Н. Загрязнение агроландшафтов России тяжелыми металлами: источники, масштабы, прогнозы // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2007. № 60. С. 82-89.
4. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте. Санкт-Петербург: ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.
5. Кузнецова Е.А. Содержание тяжелых металлов в почвах типичного агроландшафта Орловской области и их накопление в зерне сельскохозяйственных культур // Агрехимия. 2009. № 8. С. 60-64.
6. Ишкова С.В. Влияние сельскохозяйственного использования земель на распределение тяжелых металлов в агроландшафтах (на примере Самарской области) // Аграрная Россия. 2014. № 2. С. 34-38.
7. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М. Экологические проблемы агроландшафтов Рязанской области // Биосфера. 2019. Т. 11. № 3. С. 156-159.
8. Иванцова Е.А., Водолазко А.Н. Влияние загрязнения почв сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами на их бонитировочную оценку (на примере Волгоградской области) // Проблемы региональной экологии. 2019. № 4. С. 11-115.
9. Чудинова О.Н., Гулгенов С.Ж. Экологическая оценка содержания тяжелых металлов в почве и растениях на территории полигона твердых коммунальных отходов г. Улан-Удэ // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2023. № 9. С. 30-34.
10. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

11. Убугунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. 128 с.
12. Гаврилова И.П., Касимов Н.С. Практикум по геохимии ландшафтов. М.: МГУ, 1989. 72 с.
13. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
14. Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: Учебное пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
15. Иванов А.И., Суханов П.А., Иванова Ж.А., Цыганова Н.А., Яковлева Т.И. Тяжелые металлы в песчаных почвах Псковской области // Агрохимия. 2017. № 1. С. 71-79.
16. Балсанова Л.Д., Гынинова А.Б., Корсунов В.М. Диагностика лесных почв Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. 146 с.

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

Поступила в редакцию 16.03.2025
Принята к публикации 19.06.2025

HEAVY METAL CONTENT IN FALLOW SOILS WITH VARIOUS TYPES OF LAND USE (IN THE VICINITY OF ULAN-UDE)

*L. Balsanova¹, B. Naidanov²

¹Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Russia, Ulan-Ude

²Baikal Branch, FGBU VNIKR "All-Russian Plant Quarantine Center", Russia, Irkutsk
e-mail: *balsanova@mail.ru

The relevance of studying the ecological state of fallow lands is associated with their restoration and prospects for use in agricultural production. The results of studies including the content of heavy metals in the soils of fallow lands with different types of land use near Ulan-Ude, are presented. The studied soils are characterized by a low physical clay content and humus. Concentrations of heavy metals do not exceed maximum permissible concentrations, regardless of land use direction; and the soils are not contaminated. Accumulation of Zn, Cu, Ni was revealed due to the location of the deposit near the solid waste landfill.

Key words: heavy metals, accumulation, fallow land, agrozem.

References

1. Gunin P.D., Ubugunov V.L., Rupyshev Yu.A., Ubugunova V.I., Bazha S.N., Balsanova L.D., Baldanov B.Ts., Buyantueva L.B., Kharpukhaeva T.M., Kholboeva S.A., Petukhov I.A., Tsyrempilov E.G. O roli bioticheskikh i abioticheskikh faktorov v protsessakh zakorivaniya pochv zaleznykh zemel' Barguzinskoj kotloviny. Aridnye ekosistemy. 2018. T. 24. N 3 (76). S. 11-24.
2. Sorokina O.A., Tokavchuk V.V., Rybakova A.N. Postagrogennaya transformatsiya serykh pochv zalezhei. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2016. 239 s.
3. Borisochkina T.I., Vodyanitskii Yu.N. Zagryaznenie agrolandshaftov Rossii tyazhelymi metallami: istochniki, masshtaby, prognozy. Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva. 2007. N 60. S. 82-89.
4. Alekseev Yu.V. Tyazhelye metally v agrolandshafte. Sankt-Peterburg: PIYAF RAN, 2008. 216 s.

5. Kuznetsova E.A. Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvakh tipichnogo agrolandshafta Orlovskoi oblasti i ikh nakoplenie v zerne sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. *Agrokimiya*. 2009. N 8. S. 60-64.
6. Ishkova S.V. Vliyanie sel'skokhozyaistvennogo ispol'zovaniya zemel' na raspredelenie tyazhelykh metallov v agrolandshaftakh (na primere Samarskoi oblasti). *Agrarnaya Rossiya*. 2014. N 2. S. 34-38.
7. Mazhaiskii Yu.A., Guseva T.M. Ekologicheskie problemy agrolandshaftov Ryazanskoi oblasti. *Biosfera*. 2019. T. 11. N 3. S. 156-159.
8. Ivantsova E.A., Vodolazko A.N. Vliyanie zagryazneniya pochv sel'skokhozyaistvennykh zemel' tyazhelymi metallami na ikh bonitirovochnuyu otsenku (na primere Volgogradskoi oblasti). *Problemy regional'noi ekologii*. 2019. N 4. S. 11-115.
9. Chudinova O.N., Gulgenov S.Zh. Ekologicheskaya otsenka sodержaniya tyazhelykh metallov v pochve i rasteniyakh na territorii poligona tverdykh kommunal'nykh otkhodov g. Ulan-Ude. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2023. N 9. S. 30-34.
10. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Klassifikatsiya i diagnostika pochv. Smolensk: Oikumena, 2004. 342 s.
11. Ubugunov V.L., Kashin V.K. Tyazhelye metally v sadovo-ogorodnykh pochvakh i rasteniyakh g. Ulan-Ude. Ulan-Ude: Izd-vo BNTS SO RAN, 2004. 128 s.
12. Gavrilova I.P., Kasimov N.S. Praktikum po geokhimii landshaftov. M.: MGU, 1989. 72 s.
13. Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv. Pod red. L.A. Vorob'evoi. M.: GEOS, 2006. 400 s.
14. Zverev A.A. Informatsionnye tekhnologii v issledovaniyakh rastitel'nogo pokrova: Uchebnoe posobie. Tomsk: TML-Press, 2007. 304 s.
15. Ivanov A.I., Sukhanov P.A., Ivanova Zh.A., Tsyganova N.A., Yakovleva T.I. Tyazhelye metally v peschanykh pochvakh Pskovskoi oblasti. *Agrokimiya*. 2017. N 1. S. 71-79.
16. Balsanova L.D., Gyninova A.B., Korsunov V.M. Diagnostika lesnykh pochv Selenginskogo srednegor'ya. Ulan-Ude: Izd-vo BNTS SO RAN, 2009. 146 s.

Сведения об авторах:

Балсанова Лариса Даниловна

К.б.н., старший научный сотрудник, Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН

ORCID 0000-0002-1805-2613

Balsanova Larisa

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Institute of General and Experimental Biology SB RAS

Найданов Булат Борисович

К.б.н., младший научный сотрудник научно-методического отдела, Байкальский филиал ФГБУ ВНИИКР «Всероссийский центр карантина растений»

ORCID 0000-0002-4667-9915

Naidanov Bulat

Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Research and Methodology Department, Baikal Branch, FGBU VNIICR "All-Russian Plant Quarantine Center"

Для цитирования: Балсанова Л.Д., Найданов Б.Б. Содержание тяжелых металлов в залежных почвах с различным типом землепользования (окрестности г. Улан-Удэ) // Вопросы степеведения. 2025. № 2. С. 47-54. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-2-47-54