

На правах рукописи



Чередова Татьяна Викторовна

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА
НА ЗАКРЫТЫХ ХРАНИЛИЩАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ
И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ
УЛАН-УДЭНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

Специальность: 1.6.21 – Геоэкология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Улан-Удэ – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН), г. Улан-Удэ

Научный руководитель: **Дорошкевич Светлана Геннадьевна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Геологического института им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ

Официальные оппоненты: **Таловская Анна Валерьевна**, доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

Белозерцева Ирина Александровна, кандидат географических наук, доцент, заведующая лабораторией геохимии ландшафтов и географии почв Института географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

Защита состоится 3 апреля 2025 г. в 10-00 часов на заседании Диссертационного совета 24.1.053.01 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

Адрес: 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а
e-mail: amosova@igc.irk.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, адрес сайта:
<http://www.igc.irk.ru/ru/zashchita>

Автореферат разослан «___» января 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.х.н.



Амосова А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Полигоны и свалки промышленных и коммунальных отходов представляют собой природно-техногенные объекты с определёнными законами развития, которые обусловлены физико-географическими особенностями мест складирования, размерами полигонов, условиями их эксплуатации, составом отходов и характером микробиологических процессов, протекающих в толще захороненных отходов [Гуман, 2003; Хазанов, 2003], что позволяет изучать их как техногенные геологические объекты. На объектах захоронения отходов разного типа достаточно широко изучены механизм протекания физико-химических процессов в теле полигонов [Кропачев, 1998; Вайсман, 2008; Гуман, 2009], биоразлагаемость и микробная деструкция компонентов отходов [Eleazer et al., 1997; Зайцева, 2006; Podlasek et al., 2023], условия образования и свойства фильтрата и биогаза, образующихся на свалках [Степаненко, 2009; Бичелдей, 2011; Бобоев, 2018; Малкин, 2022; El-Fadel et al., 2002; Vove et al., 2015], проблемы организации мониторинга окружающей среды на полигонах [Зомарев, 2010]. Исследования многих авторов показывают, что полигоны отходов являются серьёзным источником негативного воздействия на окружающую среду, особую экологическую опасность представляют собой заброшенные и нерекультивированные объекты размещения отходов. Оценка влияния на окружающую среду таких объектов, расположенных в Республике Бурятия, ранее не проводилась, поэтому изучение эколого-геохимической обстановки на закрытых хранилищах отходов является актуальной геоэкологической задачей.

Цель исследования: оценка эколого-геохимического состояния окружающей среды на объектах захоронения отходов производства и потребления, расположенных в пределах Улан-Удэнской агломерации.

Объектом исследования являлись закрытые, но не рекультивированные к настоящему времени свалки промышленных (ТПРО) и коммунальных (ТКО) отходов, расположенные в границах Улан-Удэнской агломерации.

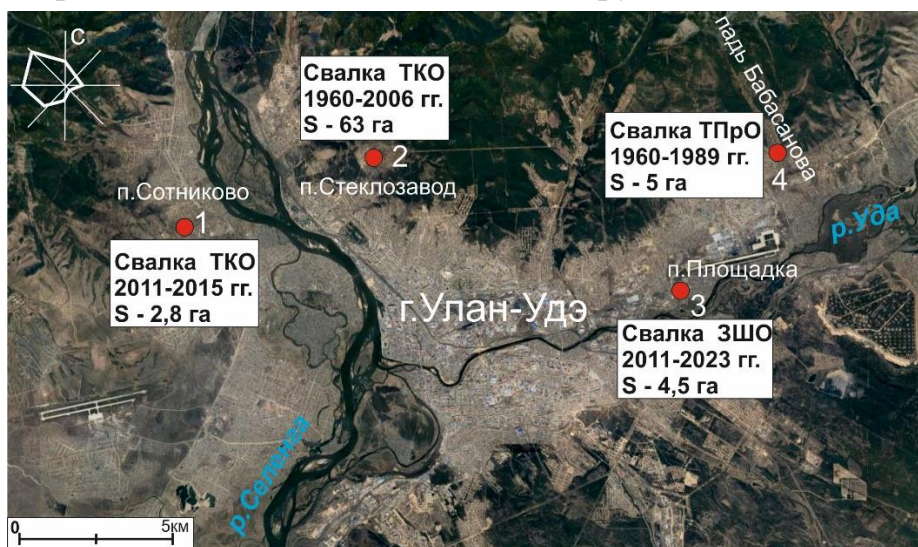
Для достижения цели были поставлены **следующие задачи:**

1. на основании фондовой, опубликованной литературы и результатов натурных наблюдений выявить закрытые, но не рекультивированные к настоящему времени объекты захоронения отходов, расположенные в пределах Улан-Удэнской агломерации;
2. изучить химический состав снегового покрова, подземных вод, испаряющейся влаги, почв/грунтов и растительности на объектах исследования и в зоне их влияния;

3. определить токсичность сред, контактирующих с телом свалок методами биотестирования;

4. оценить воздействие на окружающую среду изучаемых объектов размещения отходов.

Фактический материал и методы исследования. По результатам проведенного анализа фондовой литературы и натурных наблюдений в пределах Улан-Удэнской агломерации было выбрано 4 закрытых, но не рекультивированных объекта захоронения отходов, отличающихся друг от друга «возрастом» и типом захороненных отходов: свалки ТКО п. Сотниково, п. Стеклозавод, свалка ТПрО в местности падь Бабасанова, свалка золошлаковых отходов (ЗШО) п. Площадка (рис.1). Все свалки расположены в схожих геологических условиях в пределах убукунской и сотниковской свит, породы которых представлены алевролитами, песчаниками, аргиллитами, конгломератами, брекчиями. В геоморфологическом отношении свалки расположены в пределах Иволгино-Удинской впадины в южных отрогах хребтов Хамар-Дабан и Улан-Бургасы. Для района исследования характерны лесостепные ландшафты. Почвы/грунты на условно-фоновых участках были отнесены к дерновым лесным, на свалках – к нарушенным землям.



Условные обозначения:
1 – свалка п. Сотниково;
2 – свалка п. Стеклозавод;
3 – свалка п. Площадка;
4 – свалка падь Бабасанова
Указанные годы – периоды функционирования свалки;
S – площадь свалки, га

Рисунок 1 – Схема расположения объектов исследования в пределах Улан-Удэнской агломерации

Исследования были проведены в период 2021-2023 гг. Отбор проб проводился на теле свалок, в зоне их влияния и на условно-фоновых участках, подобранных индивидуально для каждой свалки. Условно-фоновый участок выбирался с учетом розы ветров, направления потока подземных вод и орографических особенностей местности на расстоянии 500-1000 м от границы свалок. Всего было отобрано 150 образцов снега, почв/грунтов, растений, конденсата, подземных вод (рис. 2). Пробы отбирались в соответствии с методиками [Методические рекомендации,

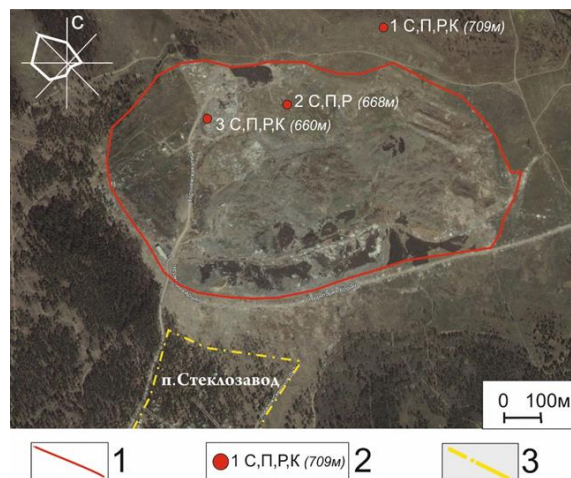
1990] и нормативными документами [ГОСТ 17.1.5.05-85, ГОСТ 31861-2012, ГОСТ Р 53123-2008, ГОСТ Р ИСО 22030-2009, ГОСТ 17.4.3.01-2017, ГОСТ 17.4.4.02-2017].

Свалка п. Сотниково



Количество проб (48):
С – 5; П – 13; Р – 19; К – 7; В – 4.

Свалка п. Стеклозавод



Количество проб (15):
С – 5; П – 4; Р – 4; К – 2.

Свалка падь Бабасанова



Количество проб (122):
С – 8; П – 74/49*; Р – 26; К – 9; В – 5.

Свалка п. Площадка



Количество проб (15):
С – 4; П – 3; Р – 4; К – 2; В – 2.

Условные обозначения:

1 – граница захламленной территории; 2 – условный шифр точки отбора: (1) – номер; исследуемый компонент (С – снег, П – почва/грунт, Р – растения, К – конденсат, В – подземные воды); (624м) – высота над уровнем моря, м; 3 – граница ближайшего водного объекта; 4 – точки отбора проб почвы для определения ее фитотоксичности; 5 – номер профиля для определения фитотоксичности

*Примечание: указано количество проб для определения фитотоксичности почв

Рисунок 2 – Схема опробования на объектах исследования

Макрокомпонентный состав подземных вод, снеговой воды и конденсата определялся в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) с помощью методов титриметрии, потенциометрии, гравиметрии, фотоколориметрии и в Центре коллективного пользования (ЦКП) «Прогресс» ВСГУТУ (г. Улан-Удэ) с помощью метода капиллярного электрофореза. Гранулометрический состав твердых частиц снегового покрова был установлен в ЦКП «Научные приборы» БГУ (г. Улан-Удэ) с помощью метода лазерной дифракции. Анализ морфологического и минерального состава твердого осадка проводился с помощью растровой электронной микроскопии в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP), содержание химических элементов в почве определяли рентгенофлуоресцентным методом в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). При изучении физико-химических свойств почв/грунтов руководствовались общепринятыми методами почвенных и агрохимических исследований [Аринушкина, 1970; Соколов, 1975]: гранулометрический состав – методом растирания с раствором пиррофосфата натрия; рН водной вытяжки – потенциометрическим методом; содержание гумуса – по методу Тюрина в модификации Никитина; обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} – трилонометрическим методом. Анализ микрокомпонентного состава снеговой воды, подземных вод, конденсата, а также растительных образцов был проведен с помощью метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск). Интегральную радиоактивность, содержание урана (U), тория (Th) и калия (K) определяли с помощью портативного гамма-спектрометра GS-512.

Математико-статистическая обработка аналитических данных проводилась с помощью программных продуктов MS Excel, Statistica 10.0, графическая обработка – с применением программных продуктов MS Visio, CorelDraw X7. Картографический материал разработан с помощью программы SAS.Планета (версия 201212.10106 Stable), геоинформационные модели распределения химических элементов составлены с помощью программы ArcGis (версия 10.8).

Научная новизна. Впервые в Забайкалье изучено влияние закрытых некультивируемых полигонов размещения промышленных и коммунальных отходов на компоненты окружающей среды: почва/грунты, растения, подземные воды, испаряющаяся влага, снеговой покров. В почвах/грунтах установлены аномально высокие содержания потенциально опасных химических элементов Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Cr. При их миграции в системе «почва/грунт – растение» показана индикаторная роль полыни веничной (*Artemisia scoparia*). Предложен способ

оценки интенсивности протекания биогеохимических процессов разложения органических компонентов отходов, устанавливаемый по повышению минерализации, перманганатной окисляемости и содержания ионов NH_4^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- и Cl^- в подземных водах, а также по содержанию ионов NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} во влаге, испаряющейся с поверхности объектов захоронения. Получены новые данные по минеральному составу и размерам частиц нерастворимого осадка снежного покрова с поверхностного слоя грунта свалок в отсутствие их рекультивации.

Практическая значимость. Проведенные изыскания позволили ранжировать изучаемые объекты размещения отходов по уменьшению степени их влияния на окружающую среду, что может являться основанием для принятия решения Администрациями муниципальных образований о последовательности рекультивации нарушенных территорий. Полученные выводы о распределении потенциально опасных химических элементов в почвах/грунтах, испаряющейся влаге (конденсате) и растениях на свалках, могут являться основанием для применения конденсата в качестве индикаторного показателя при мониторинге окружающей среды на закрытых объектах размещения отходов. Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс в высших учебных заведениях г. Улан-Удэ (ВСГУТУ, БГУ).

Личный вклад автора заключается в выборе объектов исследования, отборе проб, пробоподготовке к лабораторным анализам, постановке и проведению эксперимента по оценке токсичности сред, аналитической обработке, графической интерпретации и эколого-геохимической оценке полученных данных.

Степень достоверности обеспечена достаточным количеством проб, проанализированных различными современными высокочувствительными аттестованными аналитическими методами в аккредитованных лабораториях, а также глубиной проработки фактического материала с использованием современных методов статистической обработки и литературы по теме исследования.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях различного уровня: IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии» (Улан-Удэ, 2021); VI, VII Всерос. науч. конф. «Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике» (Улан-Удэ – Горячинск, 2021; Улан-Удэ – Максимиха, 2024); II, III Всерос. конф. с междунар. участием «Эволюция биосферы и техногенез» (Чита, 2021, 2022); II Всерос. научно-практическая конф. «Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты Внутренней Азии» (Улан-Удэ, 2021); XVII Междунар. научно-практическая конф. «Кожа и мех

в XXI веке: технология, качество, экология, образование» (Улан-Удэ, 2022); Всерос. конф. (с участием зарубежных ученых) «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 2022); VI Междунар. науч. конф. «Геодинамика и минерагения Северной Евразии» (Улан-Удэ, 2023); Национальная научно-практическая конф. «Образование и наука» (Улан-Удэ, 2023); V Всерос. научно-практическая конф. с междунар. участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Томск, 2023); X Всерос. научная конф. с междунар. участием «Современные проблемы регионального развития» (Биробиджан, 2024); XXIV Совещание по подземным водам востока Сибири и Дальнего Востока с международным участием (Екатеринбург, 2024). Результаты работы были представлены на республиканском конкурсе научно-популярных докладов «Научные битвы – 2023» (Улан-Удэ, 2023).

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 18 работ, из них 5 в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, в том числе 1 статья WoS.

Структура и объем работы. Диссертация представляет собой рукопись объемом 178 страниц машинописного текста, содержащего 41 таблицу, 40 рисунков и библиографию из 221 наименования (40 из которых иностранных авторов, 21 – нормативно-правовые документы, 23 – фондовые источники). Она состоит из введения, 4 глав, заключения и приложений.

Во введении указаны актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, представлена их практическая значимость и научная новизна. **В главе 1** на основании литературных источников проанализированы биогеохимические процессы, протекающие в теле полигонов; показаны фазы разложения захороненных отходов; рассмотрено воздействие объектов размещения отходов (ОРО) на компоненты окружающей среды; проанализированы преимущества и недостатки нормативно-правового регулирования мониторинга окружающей среды на ОРО в России и за рубежом. **В главе 2** представлена геоэкологическая характеристика района исследования. Показано, что территория г. Улан-Удэ и пригородной зоны характеризуется сложной эколого-геологической обстановкой, обусловленной геологическим строением, резко континентальным климатом, повышенной сейсмичностью, эрозионными процессами в долинах рек, слабой защищенностью подземных вод, что в совокупности приводит к осложнению выбора участков для захоронения отходов. На основании анализа фондовой литературы составлен краткий исторический очерк об организации свалок на территории г. Улан-Удэ с 1940-х гг. по настоящее время. **В главе 3** дана характеристика объектов и методов исследова-

дования. В главе 4 приводятся результаты эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды на изучаемых объектах захоронения отходов: химический состав почв/грунтов, подземных вод, испаряющейся влаги, растительности; химический и минеральный состав снегового покрова; сведения о содержании естественных радиоактивных элементов в грунтах; уровень фитотоксичности почв в районе расположения ОРО. В заключении представлены основные выводы по результатам проведенных научных исследований.

Благодарности. Автор считает своим приятным долгом поблагодарить коллектив лаборатории гидрогеологии и геоэкологии, лаборатории геохронологии и геохимии окружающей среды, лаборатории инструментальных методов анализа, инженерного центра Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН за помощь в выполнении работы на разных этапах. Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю к.б.н. С.Г. Дорошкевич за внимание и помощь в проведении исследований, советы и критические замечания при подготовке диссертации. Отдельную благодарность за поддержку, помощь и ценные советы автор выражает д.г.-м.н. А.А. Цыганкову, д.г.-м.н. А.М. Плюснину, д.т.н. И.Е. Васильевой, к.г.м.н. Е.В. Кислову, к.г.-м.н. А.В. Украинцеву, к.г.н. М.К. Чернявскому, к.б.н. О.Н. Чудиновой, к.г.-м.н. Е.А. Хромовой, к.х.н. Е.П. Чебыкину, к.х.н. А.А. Амосовой.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Положение 1. *Аномально высокие содержания Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Cr в почвах/грунтах, подземных водах и растениях, выявленные в пределах нерекультивированных свалок твердых отходов Улан-Удэнской агломерации, обусловлены геотехногенными процессами преобразования промышленных и коммунальных отходов; наиболее показательными при изучении миграции данных химических элементов в растениях на свалках являются корни полыни веничной (*Artemisia scoparia*).*

На теле свалок были выделены нарушенные земли, представленные артиурбистратами, артнииндустратами, токсииндустратами, урбиквазизёмами (по классификации 2004 г). Содержание гумуса в верхней части насыпного горизонта очень низкое и низкое, находится в пределах 0,76-2,45 %. Поглощающий комплекс насыщен основаниями, степень насыщенности – низкая, реакция насыпных грунтов – щелочная (рН 7,62-8,27). В химическом составе почв/грунтов на всех свалках выявлены потенциально опасные химические элементы в концентрациях, превышающих валовые значения ПДК и кларковые содержания (табл. 1).

Таблица 1 – Пределы колебаний содержания химических элементов (C_{\min} - C_{\max} , мг/кг, числитель), коэффициенты концентрации (K_{κ}^{\max} , знаменатель) и суммарный индекс загрязнения Z_c (п) в почвах/грунтах на свалках

Местоположение	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Co	Sb	Sn	Cr	Z_c (п)
п. Сотниково (ТКО)	$\frac{18-31}{0,86}$	$\frac{31-38}{1,27}$	$\frac{46-269}{2,02}$	$\frac{19-35}{1,13}$	$\frac{2,8-3,1}{6,20}$	$\frac{9-22}{1,29}$	$\frac{6,0-6,7}{1,49}$	н/о	$\frac{24-79}{1,23}$	37,03 опасная
п. Стеклозавод (ТКО)	$\frac{24-75}{2,16}$	$\frac{13-17}{1,20}$	$\frac{40-86}{1,23}$	$\frac{18-20}{1,10}$	н/о	$\frac{9-20}{1,28}$	н/о	н/о	$\frac{34-44}{0,92}$	31,16 ум.-опас
п. Площадка (ЗШО)	$\frac{20-23}{1,00}$	$\frac{20-21}{0,87}$	$\frac{55-60}{0,87}$	$\frac{18-20}{0,79}$	н/о	$\frac{8-11}{0,65}$	н/о	н/о	$\frac{33-36}{0,67}$	4,85 допуст.
падь Бабабанова (ТПрО)	$\frac{17-735}{33,41}$	$\frac{22-1447}{76,16}$	$\frac{78-3147}{45,61}$	$\frac{24-146}{6,64}$	$\frac{9,1-45}{90,00}$	$\frac{11-33}{2,20}$	$\frac{5,7-47}{10,44}$	$\frac{13-229}{228,98}$	$\frac{50-451}{9,40}$	659,54 чрез-опас.
ПДК, мг/кг	32	33	55	20	0,5	-	4,5	-	-	-
Кларк в почве [Макаров и др., 2022], мг/кг	3-84 (сред. 38±6)	15-60 (сред. 24±3)	56±5	20	0,5	10	0,2-10 (сред. 1,0)	10	70-90	-

Примечание. н/о – ниже предела обнаружения; «-» - нет данных

На основании Z_c (п) изучаемым почвам/грунтам были присвоены следующие категории опасности [Методические указания, 1999]: свалка падь Бабабанова (ТПрО) – чрезвычайно опасная; п. Площадка (ЗШО) – допустимая, п. Стеклозавод (ТКО) – умеренно-опасная, п. Сотниково (ТКО) – опасная. В связи со значительным загрязнением почв/грунтов на свалке ТПрО в пади Бабабанова были проведены дополнительные исследования химического состава почв/грунтов на глубину 4,5 м, отобранных в основании свалки (т. 7-8, рис. 2).

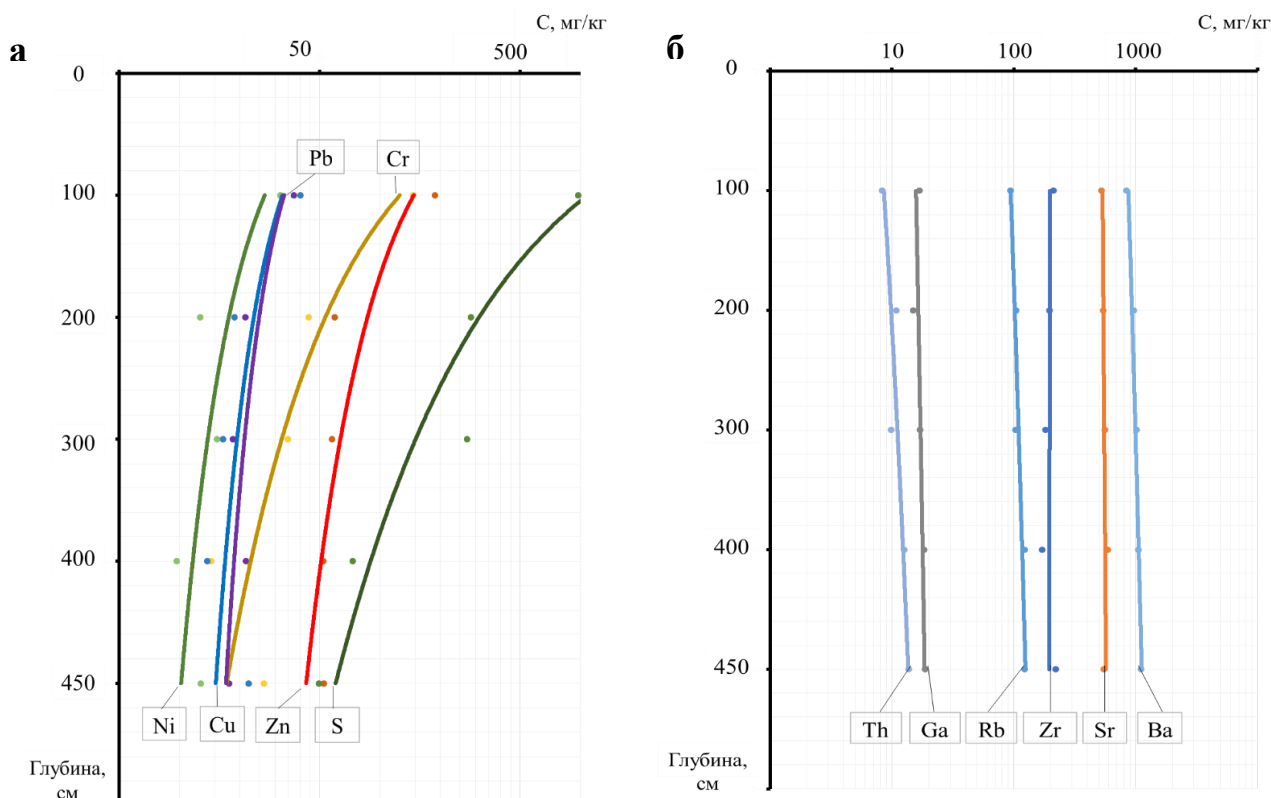


Рисунок 3 – Распределение химических элементов техногенного (а) и природного (б) происхождения в грунтах на свалке ТПрО падь Бабабанова (в логарифмической шкале)

Результаты анализа показали (рис. 3), что концентрация S, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd в грунтах снижается с глубиной, что свидетельствует о техногенном происхождении данных элементов и поступлении их из основного тела свалки. Концентрация Ba, Sr, Zr, Rb, Ga, Th, напротив, возрастает с глубиной или остается неизменной, что обусловлено их содержанием в коренных породах.

Повышение концентрации Th с глубиной являлось основанием для проведения на данной территории замеров уровня радиоактивности. Интегральная радиоактивность на исследуемой территории колеблется от 7,5 до 29,2 ед. экв. U; содержание U – от 1,5 до 15 мг/кг (в 1,8 раз выше рег. фона); Th – от 5,5 до 18,7 мг/кг (в 2,0 раз выше рег. фона); K – от 0,8 до 4,6 % (в 1,7 раз выше рег. фон [Гребенщикова и др., 2009; Рихванов и др., 2013]). Геоинформационные модели распределения естественных радиоактивных элементов показали, что зоны максимальных значений интегральной радиоактивности, U, Th, K расположены за пределами основного тела свалки (рис. 4), что свидетельствует о естественном происхождении высокого радиационного фона на рассматриваемом участке. По данным научно-исследовательских работ, проводимых на данной территории в 1980-1984 гг. породы сотниковской и убукунской свит, залегающие в основании свалки, характеризуются повышенным содержанием U, Th, K, превышающим фоновые значения в 1,5-3 раз [Гофман, 1984, ф]. Таким образом, повышенный уровень радиации в районе размещения закрытой свалки ТПрО в местности падь Бабасанова связан не с захороненными отходами, а с геохимическими особенностями коренных пород, в границах которых расположена свалка.

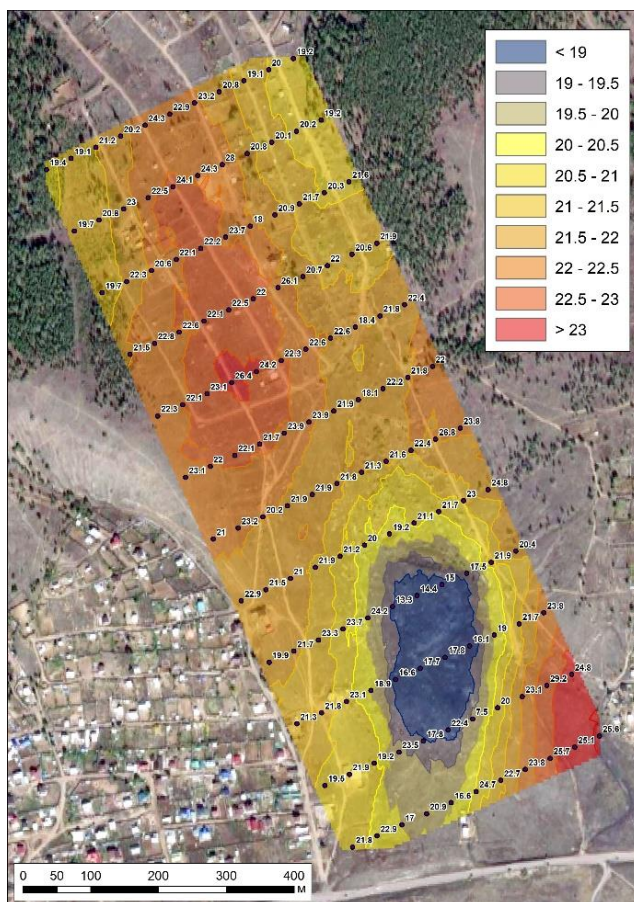


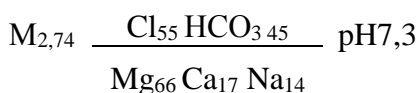
Рисунок 4 – Интегральная радиоактивности в районе расположения свалки падь Бабасанова (построено в ArcGis, версия 10.8)

Результаты изучения фитотоксичного эффекта (ФЭ) почв/грунтов в отношении культуры Овес посевной (*Avena sativa L.*) на свалке падь Бабасанова показали, что повышенной токсичностью характеризуются почвы/грунты, расположенные на основной насыпи свалки, наименьшей токсичностью – на флангах свалки (рис. 5).

Индекс токсичности для надземной части тест-объекта варьировался в диапазоне 0,32-0,84, для подземной части – в диапазоне 0,39-0,95, что соответствует II (высокий) – IV (низкий) классам токсичности по [Волкова, 2002].

Подземные воды в районе свалок были отнесены к пресным гидрокарбонатным натриево-кальциевым и натриево-магниевым водам, что в

целом характерно для водоносного горизонта отложений сотниковской и убукунской свит [Геологическая карта, 2001]. Тип подземной воды в контрольных скважинах на свалках, как правило, не менялся, за исключением свалки ТКО п. Сотниково, в наблюдательной скважине которой тип воды сменился на хлоридно-магниевый (см. формулу Курлова), что свидетельствует о значительном техногенном воздействии на подземные воды данной территории.



Захороненные отходы на всех свалках оказывают влияние на микроэлементный состав подземных вод, что выражается в повышенном содержании в подземной воде химических элементов, входящих в состав отходов. В частности, на свалке ЗШО п. Площадка в подземных водах значительные превышения над фоном выявлены для (в скобках указаны коэффициенты концентрации (Кк) относительно условно-фоновое участка): Rb(3,98), K(2,44), Nb(2,22), Na(2,15), Cd(2,13), Sn(2,17), Lu(2,75), Pb(2,0), Th(2,0). Все перечисленные элементы входят в состав ЗШО, концентрируясь либо в шлаке, либо в золе уноса [Ермагамбет и др., 2018]. Нормы ПДК в контрольной скважине на свалке ЗШО п. Площадка превышены по Li (1,4ПДК_{сан-гиг}), Mn (2,2ПДК_{сан-гиг}), Sr (3,1ПДК_{рыб-хоз}), Hg (3,0ПДК_{сан-гиг}). Индекс загрязнения воды (ИЗВ) на свалке ЗШО составил 0,4, вода отнесена к 2 классу (чистая) по [Временные МУ, 1986]. Превышение фоновых значений и норм ПДК в подземной воде на свалке ТКО п. Сотниково по (Кк/К_{ПДКр-х}): Mg (72,9/8,8), Mn (41,5/56), Pb (12,6/1,2), Ni (10,8/4,2), V (8,6/5,7), K (7,4/1,6), Br (4,6/3,6), Na (3,8/5,0), Ca (3,5/1,1), Sr (2,7/13,3), Cd (2,6/-), Cu (2,6/15,3), Cr (2,5/-), Hg (1,4/34), Zn (1,0/1,9), Co (15,3/0,5), Sn (1,38/-) свидетельствует о значительном загрязнении подземных вод в зоне действия свалки продуктами деструкции коммунальных отходов [Farquhar, 1989; El-Fadel et al., 2002; Аль-Ахваль, 2011]. На основании ИЗВ=80,5 подземная вода на

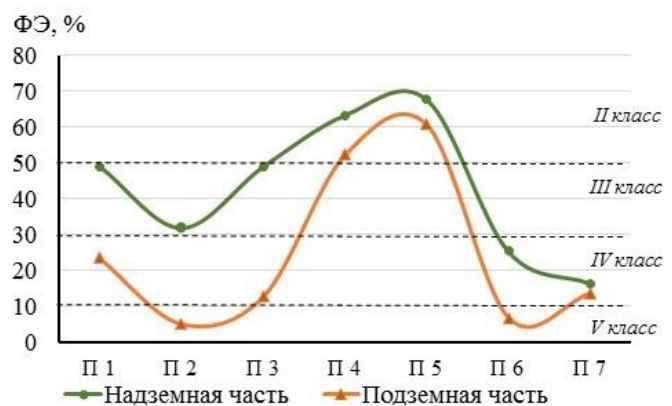


Рисунок 5 – ФЭ почв/грунтов по профилям (П) на свалке ТПрО падь Бабасанова (курсивом указан класс токсичности [Волкова, 2002])

свалке ТКО п. Сотниково отнесена к 7 классу (чрезвычайно грязная). В подземных водах в зоне влияния свалки в пади Бабасанова значительные превышения над фоном выявлены для Be, S, Co, V, Mn, Fe, Cu, Zn, Se, Br, Ru. По этим же элементам превышены нормы ПДК (табл. 2).

Таблица 2 – Микроэлементный состав подземных вод (свалка ТПрО падь Бабасанова)

Пло- щадки от- бора проб	Концентрация элемента, мкг/л												
	Be	S	Co	V	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Br	Ru	Hg	U
ПДК _{сан-гиг}	0,2	-	100	100	100	300	1000	5000	10	200	-	0,5	15
ПДК _{рыб-хоз}	0,3	10000	10	1	10	100	1	10	2	1350	-	0,01	-
т. 1 (фон)	0,0016	11800	0,29	0,18	38	43	1	8,6	0,34	126	0,003	1,7	37
т. 9 (зона влияния)	<u>0,006</u> 3,75	<u>43000</u> 3,64	<u>0,4</u> 1,38	<u>1,9</u> 10,56	<u>0,71</u> 0,02	<u>29</u> <u>0,67</u>	<u>8,3</u> 8,3	<u>36</u> 4,19	<u>2,6</u> 7,65	<u>510</u> 4,05	<u>0,012</u> 4,0	<u>1,6</u> 0,94	<u>67</u> 1,81
т.10 (зона влияния)	<u>0,006</u> 3,75	<u>15600</u> 1,32	<u>0,26</u> 0,9	<u>0,2</u> 1,11	<u>47</u> 1,24	<u>39</u> 0,91	<u>0,64</u> 0,64	<u>4,4</u> 0,51	<u>0,52</u> 1,53	<u>86</u> 0,68	<u>0,004</u> 1,33	<u>1,2</u> 0,71	<u>7,9</u> 0,21

Примечание: Нумерацию точек отбора см. рис.2.

В числителе представлена концентрация, мг/л, в знаменателе – коэффициент концентрации относительно условно-фонового значения.

Указанные в таблице 2 микроэлементы входят в состав промышленных отходов: Se является полупроводником и применяется в электротехнике [Кульчицкий, Наумов, 2015], сплавы цветных металлов (Cu, Zn) и V используются в качестве легирующих элементов и широко применяются в металлургии [Чурилов и др., 2017]. Индекс загрязнения воды из скважин в зоне влияния свалки ТПрО падь Бабасанова составил 1,0-2,5, что соответствует 3-4 классам загрязнения (умеренно-загрязненная – загрязненная).

Содержание потенциально опасных элементов в растениях, отобранных на всех свалках превышает фоновые значения (табл.3).

Таблица 3 – Содержание (среднее значение) потенциально опасных хим. элементов (числитель, мкг/кг), коэффициент концентрации (знаменатель) и суммарный индекс загрязнения Zc(p) растений на свалках

Местоположение	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Co	Sb	Sn	Cr	Zc(p)
п. Сотниково (ТКО)	<u>149</u> 1,2	<u>5000</u> 1,5	<u>13800</u> 3,2	<u>320</u> 2,0	<u>100</u> 1,7	<u>85</u> 2,1	<u>10</u> 2,6	<u>22</u> 1,2	<u>380</u> 0,9	9,5
п. Стеклозавод (ТКО)	<u>400</u> 3,7	<u>6000</u> 2,1	<u>29000</u> 5,9	<u>480</u> 1,1	<u>500</u> 6,8	<u>107</u> 1,3	<u>34</u> 2,6	<u>14</u> 1,4	<u>330</u> 1,1	25,4
п. Площадка (ЗШО)	<u>820</u> 1,5	<u>8100</u> 1,9	<u>75000</u> 7,7	<u>1020</u> 1,4	<u>910</u> 3,8	<u>220</u> 3,1	<u>24</u> 1,2	<u>71</u> 2,0	<u>1490</u> 2,9	20,0
падь Бабасанова (ТПрО)	<u>1250</u> 9,1	<u>14300</u> 1,9	<u>76000</u> 5,1	<u>780</u> 1,3	<u>7400</u> 104,2	<u>129</u> 1,8	<u>72</u> 6,5	<u>65</u> 3,3	<u>900</u> 3,0	129,8
Пределы колебаний в расте- ниях мира [Kabata-Pendias et al, 2011], мкг/кг	100- 10000	1000- 33100	6000- 80000	70- 4800	30- 1260	10- 390	до 60	40- 100	110- 3400	-
МДУ, мкг/кг	5000	30000	50000	3000	300	1000	500	-	500	-

Примечание: МДУ – максимально допустимый уровень

Превышения максимально допустимых уровней содержания опасных элементов [МДУ, 1987] были выявлены для Zn, Cd, Cr в растениях, произрастающих на свалках ТПрО (падь Бабасанова), ЗШО (п. Площадка), «старой» свалке ТКО (п. Стеклозавод). Наименьшее загрязнение растений ($Z_c(p)=129,9$) характерно для растений с «молодой» свалки ТКО (п. Сотниково), что свидетельствует о влиянии «возраста» свалки на эмиссию потенциально опасных химических элементов в состав растений.

При выборе растения-индикатора для изучения биогеохимической активности на свалках был проанализирован макро- и микроэлементный состав травянистых, древесных растений и макромицетов, произрастающих в районе объектов исследования. По результатам анализа установлено, что в качестве растения-индикатора при мониторинге на объектах захоронения отходов целесообразно использовать полынь веничную (*Artemisia Scoparia*) в связи с её широким распространением на свалках и интенсивным накоплением потенциально опасных химических элементов. При этом наиболее показательными при проведении мониторинга являются корни растения (рис.6), активно накапливающие химические элементы, что связано с работой барьерных механизмов [Ковалевский, 1991].

В результате анализа загрязнения основных сред, контактирующих с телом свалки были составлены

ранжирующие ряды, отражающие содержание потенциально опасных химических элементов (по уменьшению суммарного индекса загрязнения):

- в почве ($Z_c(п)$): ТПрО падь Бабасанова (659,54) > ТКО п. Сотниково (37,03) > ТКО п. Стеклозавод (31,16) > ЗШО п. Площадка (4,85);
- в подземных водах (ИЗВ): ТКО п. Сотниково (80,5) > ТПрО падь Бабасанова (1-2,5) > ЗШО п. Площадка (0,4);
- в растениях ($Z_c(p)$): ТПрО падь Бабасанова (129,8) > ТКО п. Стеклозавод (25,4) > ЗШО п. Площадка (20,0) > ТКО п. Сотниково (9,5).

Проведенное ранжирование показало, что все нерекультивированные объекты захоронения отходов оказывают влияние на контактирующие среды, максимальное воздействие из рассмотренных объектов наблюдается на свалке ТПрО

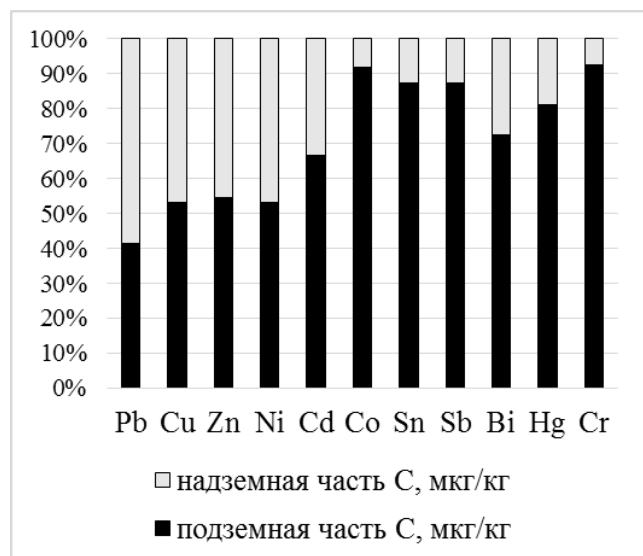


Рисунок 6 – Распределение потенциально опасных хим.элементов в составе полыни веничной

падь Бабасанова и свалке ТКО п. Сотниково.

Положение 2. *Повышенные содержания ионов NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} в составе влаги, испаряющейся с поверхности объектов захоронения коммунальных отходов, свидетельствуют об активных биогеохимических процессах разложения органического вещества в теле свалки, что подтверждается высокими значениями минерализации, перманганатной окисляемости и повышенными концентрациями ионов NH_4^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- и Cl^- в подземных водах.*

Содержание основных катионов и анионов в конденсате, отобранном на территориях всех объектов размещения отходов, превышает фоновые значения, что свидетельствует о протекании окислительных процессов в теле свалок (табл. 4). Наиболее высокие коэффициенты концентрации (K_k) были выявлены в отношении азотсодержащих (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) и фосфат-ионов (PO_4^{3-}) на свалках коммунальных отходов (п. Сотниково, п. Стеклозавод). Данные биогенные элементы (N, P) в составе указанных ионов являются конечным продуктом микробиологической деструкции белковых соединений [Вайсман, 2008; Гуман, 2009], и, следовательно, могут являться индикаторными при изучении интенсивности протекания биогеохимических процессов в теле объектов захоронения отходов.

Таблица 4 – Катионно-анионный состав конденсата на свалках

Площадки отбора проб	Концентрация анионов, мг/л						Концентрация катионов, мг/л				
	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	F^-	PO_4^{3-}	NH_4^+	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
ПДК _{рыб-хоз}	300	100	40	0,08	до 0,75	0,05	0,5	50	120	40	180
ТКО п. Сотниково											
фон	0,77	1,56	0,28	-	0,08	0,9	0,26	0,53	0,72	0,45	1,92
свалка	<u>1,65</u>	<u>1,84</u>	<u>0,76</u>	0,23	<u>0,07</u>	<u>1,85</u>	<u>3,16</u>	<u>1,51</u>	<u>1,45</u>	<u>0,69</u>	<u>2,85</u>
	2,14	1,18	2,71		0,88	2,06	12,15	2,85	2,01	1,53	1,48
ТКО п. Стеклозавод											
фон	1,31	2,16	0,23	-	0,04	0,05	0,40	0,92	1,17	0,38	1,32
свалка	<u>2,62</u>	<u>2,57</u>	<u>0,60</u>	0,20	<u>0,04</u>	<u>0,09</u>	<u>3,02</u>	<u>3,46</u>	<u>0,79</u>	<u>0,55</u>	<u>2,68</u>
	2,00	1,19	2,61		1,0	1,80	7,55	3,76	0,68	1,45	2,03
ТПрО падь Бабасанова											
фон	0,85	0,50	0,19	-	0,03	-	1,17	0,70	0,36	0,22	1,67
свалка	<u>1,36</u>	<u>0,87</u>	<u>0,31</u>	0,12	<u>0,06</u>	-	<u>1,92</u>	<u>1,56</u>	<u>0,56</u>	<u>0,46</u>	<u>3,29</u>
	1,60	1,74	1,63		2,0		1,64	2,23	1,56	2,09	1,97
ЗШО п. Площадка											
фон	1,52	1,58	2,47	-	0,04	-	0,19	0,85	0,82	0,44	2,32
свалка	<u>0,89</u>	<u>2,26</u>	<u>0,12</u>	0,09	<u>0,08</u>	-	<u>0,26</u>	-	-	-	<u>8,73</u>
	0,59	1,43	0,05		2,0		1,37				3,76

Примечание: В числителе представлена концентрация, мг/л, в знаменателе – коэффициент концентрации относительно условно-фоновых значений на каждой свалке.

На основании содержания азотсодержащих и фосфат-ионов в конденсате, было установлено, что интенсивность протекания биогеохимических процессов разложения отходов на свалках ТПрО ниже по сравнению со свалками ТКО в среднем на 65% (рис. 7).

Активно протекающие биогеохимические процессы на свалках ТКО подтверждаются образованием в них фильтрата. Так, в подземных

водах на свалке ТКО п. Сотниково были обнаружены повышенные значения минерализации – 2,7ПДК, перманганатной окисляемости – 28,3ПДК, содержания ионов NH_4^+ – 10,6ПДК, Mg^{2+} – 6,9ПДК, Cl^- – 2,4ПДК и ряда микроэлементов, также превышающих нормы ПДК (Mn, Fe, Cu, Sr, Hg, Ni и др.), что в совокупности свидетельствует о загрязнении подземных вод фильтратом с тела свалки [Гуман, 2009; Farquhar, 1989; El-Fadel et al., 2002; Аль-Ахваль, 2011].

При анализе микрокомпонентного состава конденсата был выявлен перечень химических элементов, превышения по которым над фоновыми значениями наблюдались в 2 и более раз (рис. 8). Для конденсата, отобранного на свалках ТКО (п. Стеклозавод, п. Сотниково), характерно повышенное содержание биогенных элементов: В, Si, P, S, K, Ca, что свидетельствует об активных процессах экологической сукцессии, которая проявляется на самозарастающих участках свалок. Вместе с тем, в конденсате со свалок ТКО обнаружены потенциально опасные химические элементы: Pb, Co (п. Стеклозавод), Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, Ag, Te, Hg, Li (п. Сотниково), происхождение которых обусловлено наличием их в составе захороненных отходов (в составе ртутных ламп, элементов питания, электроники и пр.). В конденсате на свалке ТПрО (п. Бабасанова) повышенные содержания Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, Co, Pb, входящие в химический состав промышленных отходов (шламы-алюминаты, осадок реагентных очистных сооружений) Улан-Удэнского авиационного завода (УУАЗ), являющегося основным поставщиком отходов на свалку в первые годы ее эксплуатации [фондовые данные УУАЗ, архив 1993-1999]. В конденсате на свалке ЗШО (п. Площадка) обнаружены повышенные концентрации Ca, Fe, Au, данные элементы входят в состав золошлаков от сжигания углей [Таскин, 2014; Самбуева, 2020].

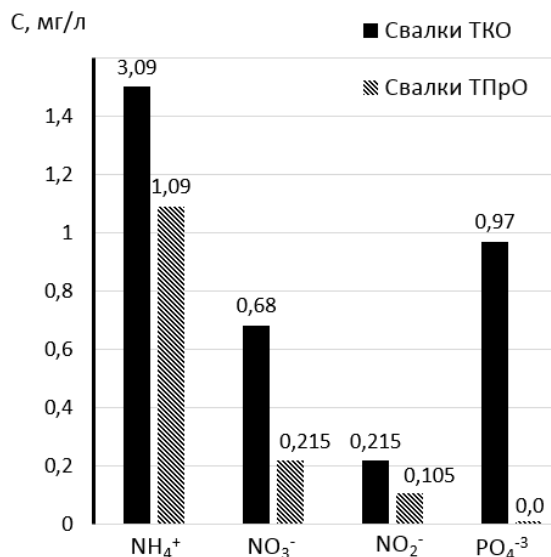
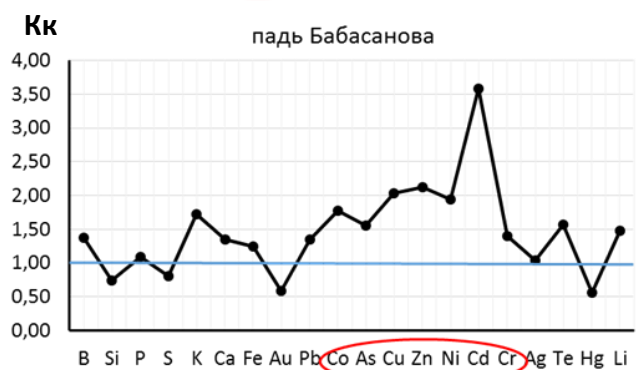
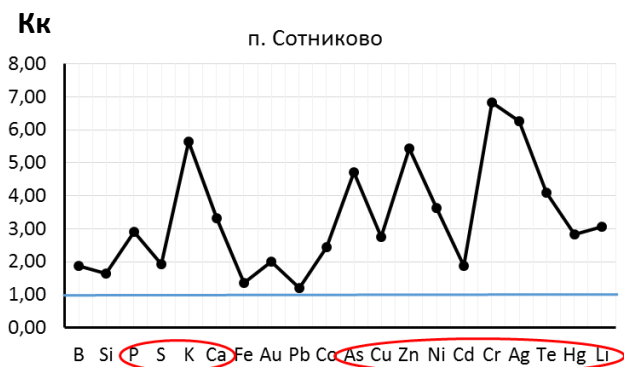
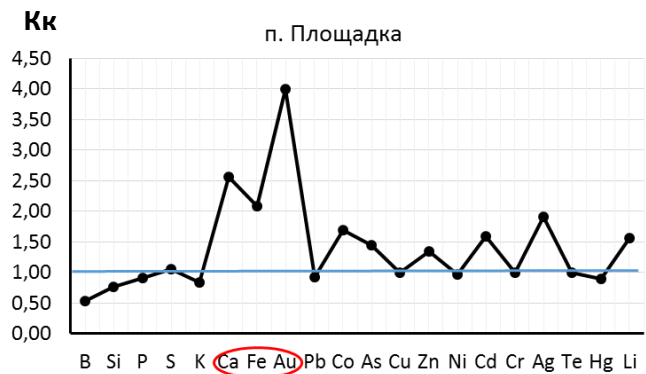
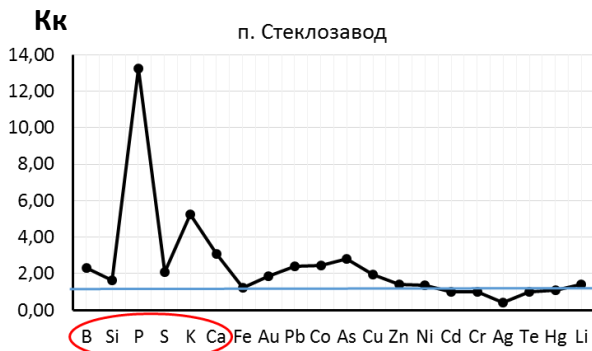


Рисунок 7 – Содержание (мг/л) ионов NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} в конденсате на свалках разных типов



Примечание: Кк рассчитаны относительно условно-фоновых участков на каждой свалке

Рисунок 8 – Коэффициенты концентрации (K_k) химических элементов в конденсате на свалках

Для оценки интегрального загрязнения испаряющейся влаги на свалках рассчитан индекс загрязнения конденсата ($Z_c(k)$) по формуле, аналогичной расчёту индекса загрязнения воды [Сибэгатуллина, 2009, Харлямов и др., 2022]. При этом норма ПДК была заменена на фоновую концентрацию в связи с тем, что нормативы ПДК для испаряющейся влаги не установлены. Количество нормируемых показателей составило 17 элементов, относящихся к группе тяжёлых и остротоксичных металлов [Реймерс, 1994, Филиппова, 2013].

$$Z_c(k) = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\phi i}} \right) / n$$

где n – количество нормируемых показателей;
 C_i – концентрация i -го элемента в конденсате на свалке, мкг/л;
 $C_{\phi i}$ – концентрация i -го элемента в конденсате на условно-фоновых участках, мкг/л.

По показателю индекса загрязнения конденсата ($Z_c(k)$) свалки ранжированы в следующий ряд (по убыванию ($Z_c(k)$)): ТПрО падь Бабасанова (13,23) > ТКО п. Сотниково (7,51) > ТКО п. Стеклозавод (5,89) > ЗШО п. Площадка (4,51).

Положение 3. *Нерекультивированные объекты размещения отходов вносят вклад в загрязнение атмосферного воздуха пылеватыми частицами. Нерастворимый осадок снегового покрова на свалках характеризуется меньшим диаметром частиц и большим минеральным разнообразием по сравнению с условно-фоновыми участками.*

На основании результатов расчёта пылевой нагрузки (P_n) установлены низкий уровень загрязнения снегового покрова в районе свалок ТКО п. Сотниково,

п. Стеклозавод и ТПрО падь Бабасанова (P_n 3,40-28,2 мг/м²×сут). Средний (P_n 337,9 мг/м²×сут) и высокий (P_n 574,1 мг/м²×сут) уровни загрязнения снегового покрова установлены в районе свалки ЗШО п. Площадка, что связано с её расположением в зоне влияния объектов теплоэнергетики и крупных промышленных предприятий г. Улан-Удэ. Пылевая нагрузка на всех изучаемых объектах превышает фоновые показатели в 2-6 раз (рис. 9), что свидетельствует об участии техногенного грунта при формировании снежного покрова на свалках.

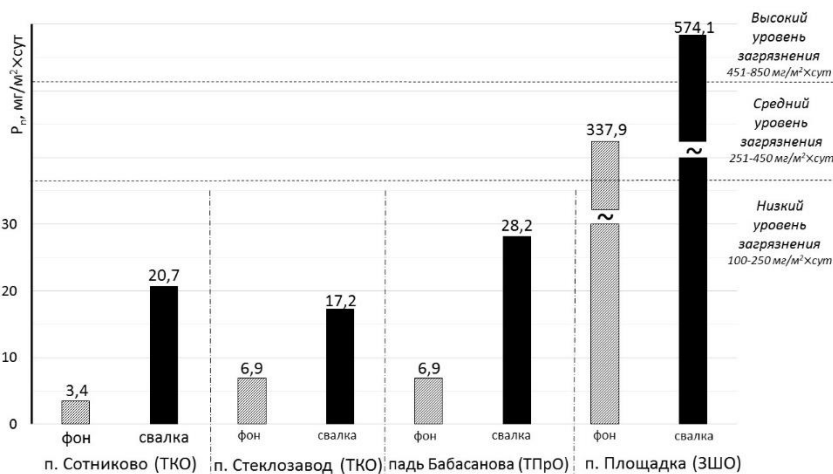


Рисунок 9 – Пылевая нагрузка (P_n) на исследуемых объектах (данные за 2021-2022 гг.)

На основании полученных данных о величине пылевой нагрузки были рассчитаны валовые выбросы пыли (т/год), поступающие в атмосферу от нерекультивированных объектов размещения отходов (табл.5). Расчет был проведен с учетом фонового загрязнения на каждой свалке и продолжительностью наличия устойчивого снегового покрова в зимний период, когда пыление невозможно.

Таблица 5 – Валовый выброс пыли от нерекультивированных объектов размещения отходов

Площадки отбора проб		Пылевая нагрузка, мг/м ² ×сут	Масса пыли со свалки с учетом фона, мг/м ² ×сут	Площадь свалки, м ²	Продолжительность снегового покрова, дн	Валовый выброс пыли, т/год
п. Сотниково (ТКО)	фон	3,400	-	-	116	-
	свалка	20,700	17,300	28000		0,121
п. Стеклозавод (ТКО)	фон	6,900	-	-		-
	свалка	17,200	10,300	630000		1,616
падь Бабасанова (ТПрО)	фон	6,900	-	-		-
	свалка	28,200	21,300	50000		0,265
п. Площадка (ЗШО)	фон	337,900	-	-	-	
	свалка	574,138	236,238	45000	2,647	

Размеры твёрдых частиц в нерастворимом осадке снегового покрова с объектов размещения отходов варьируются в диапазоне от 50 нм до 315 мкм, что значительно меньше, чем на условно-фоновых участках – от 124 до 800 мкм (табл. 6).

Таблица 6 – Гранулометрический состав нерастворимых частиц снегового покрова, отобранного на объектах захоронения отходов в пределах Улан-Удэнской агломерации

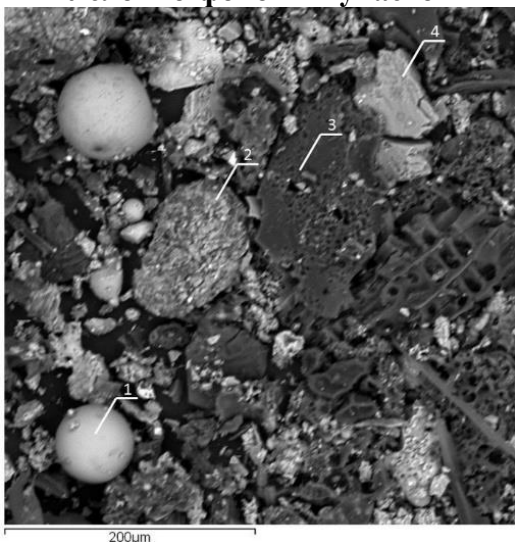
Площадки отбора проб		Диаметр частиц, мкм			
		Максимальный (d_{max})	Минимальный (d_{min})	Усредненный ($d_{50\%}$)	Модальный (d_{moda})
ТКО п. Сотниково (n=10)	фон	800,000	124,111	296,774	280,460
	свалка	315,102	3,356	59,248	176,016
ТКО п. Стеклоза- вод (n=10)	фон	800,000	315,102	585,356	800,00
	свалка	315,102	3,356	81,030	110,467
ТПрО падь Бабаса- нова (n=10)	фон	800,000	249,627	539,844	800,000
	свалка	315,102	8,521	83,596	139,441
ЗШО п. Площадка (n=5)	свалка	110,467	0,051	17,506	34,469

Примечание: n – число замеров

В снеговом покрове, отобранном на всех объектах размещения отходов, встречаются пылеватые частицы размером 2-50 мкм [ГОСТ 25100-2011] в количестве 28-87% и частицы размером менее 10 мкм, что негативно сказывается на работе органов дыхания населения [Стреляева, 2017].

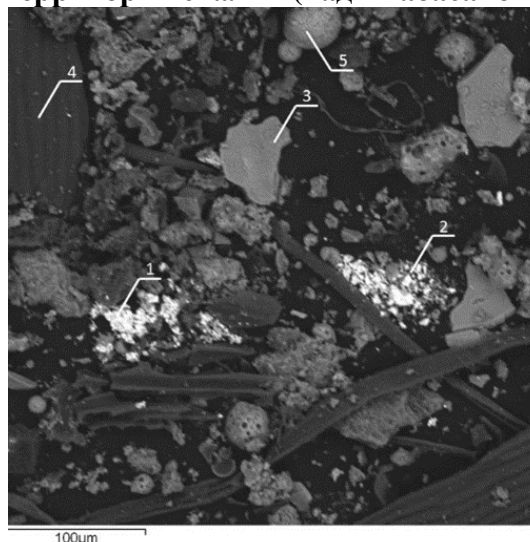
Морфологический состав частиц нерастворимого осадка снегового покрова представлен микросферулами, глобулами, волокнами и частицами неправильной формы размерами от менее 1 до 10^3 мкм (рис. 10). В снеговом покрове на территории свалок, в отличие от фоновых участков, появляются частицы неправильной формы, на поверхности которых в виде включений фаз встречаются потенциально опасные химические элементы Ti, Fe, Cr, Zn, Pb. Минеральный состав нерастворимого осадка снегового покрова в основном представлен частицами природного происхождения, характерными для горных пород Байкальского региона: кварц и различные алюмосиликаты (плагиоклазы, амфиболы, эпидоты, каолиниты, калиевые полевые шпаты, биотиты, хлориты и др.). В составе нерастворимого осадка снегового покрова встречаются также частицы техногенного происхождения, связанные с загрязнением атмосферного воздуха на изучаемой территории продуктами сгорания топлива, к ним относятся железосодержащие и углеродистые структуры, представленные золами, шлаками и частицами несгоревшего топлива. Вместе с тем в составе нерастворимого осадка снега на свалках были выявлены минералы, не свойственные фоновым участкам (хромферит, пирофанит, халькозин и др.), поступление которых возможно с привозными поверхностными грунтами с тела свалок при захоронении отходов. Мониторинг загрязнения снеговой воды на свалках показал относительное постоянство её химического состава. Снеговые воды были отнесены к слабо кислым (pH 4,2-6,56) ультрапресным водам, хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатным натриево-магниевым-кальциевым.

Условно-фонный участок



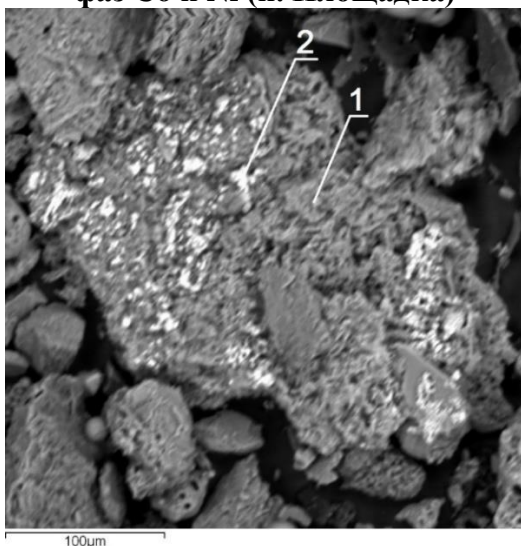
1 – сфера алюмосиликатная; 2 – кварц;
3 – углеродистая структура; 4 – плагиоклаз

Территория свалки (падь Бабасанова)



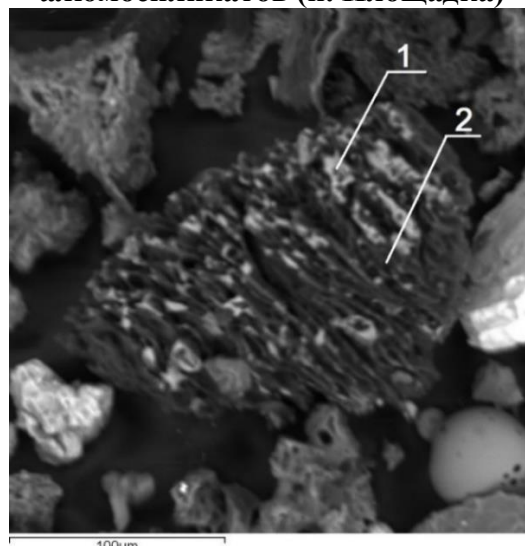
1 – окислы Ti, Fe, Cr, Zn, Pb; 2 – барит; 3 – биотит;
4 – углеродистая структура;
5 – сфера алюмосиликатная

Алюмосиликат с включениями фаз Co и Ni (п. Площадка)



N	% содержание элемента								
	Si	Ti	Al	Fe	Ca	K	Co	Ni	S
1	22,6	-	16,2	1,7	1,4	1,4	-	-	-
2	4,6	0,7	3,1	16,2	1,2	-	24,1	18,1	2,2

Углеродистая частица с включениями фаз алюмосиликатов (п. Площадка)



N	% содержание элемента								
	Si	Ti	Al	Fe	Ca	Na	K	S	C
1	10,2	0,6	11,4	9,4	6,7	-	1,0	2,5	-
2	2,6	-	0,7	-	1,1	-	-	-	74,0

Рисунок 10 – Общий вид и химический состав частиц нерастворимого осадка снегового покрова с территории свалок Улан-Удэнской агломерации

Макрокомпонентный (катионно-анионный) состав снеговых вод со свалок незначительно отличался от условно-фоновых участков (превышение $C_{фон}$ в среднем составляло 1,5 раз), микрокомпонентный состав снеговых вод более наглядно отражал влияние объектов захоронения отходов на состав снегового покрова, что выражалось превышением содержания микроэлементов в снеговой воде в 6-15 раз над условно-фоновыми показателями по некоторым элементам (Cu, Ti, Th и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на примере объектов размещения промышленных и коммунальных отходов, расположенных в пределах Улан-Удэнской агломерации, показано, что нерекультивированные объекты захоронения отходов оказывают значительное влияние на все компоненты геоэкологической среды, контактирующие с полигоном, что проявляется в повышенном содержании потенциально опасных химических элементов в почвах/грунтах, испаряющейся влаге, подземных водах, растениях, снеговом покрове, при этом существенное влияние на эмиссию токсичных элементов оказывают химический состав накопленных отходов и «возраст» свалки.

Выявленные особенности распределения потенциально опасных элементов в испаряющейся влаге (конденсате) на свалках, могут являться основанием для применения конденсата в качестве индикаторного показателя при мониторинге окружающей среды на закрытых объектах размещения отходов.

Комплексные геоэкологические исследования позволили выявить активно протекающие биогеохимические процессы на свалке коммунальных отходов п. Сотниково и свалке промышленных отходов в пади Бабасанова.

Значительные превышения санитарно-гигиенических нормативов в подземных водах в зоне влияния свалки ТКО п. Сотниково свидетельствуют о продолжающихся процессах образования фильтрата в теле захороненных коммунальных отходов и его просачивании в верхние водоносные горизонты.

При организации биомониторинга с помощью растений на объектах размещения отходов целесообразно использовать корни полыни веничной (*Artemisia Scoparia*), являющиеся наиболее информативными для оценки степени загрязнения не только поверхностных слоев почв/грунтов, но и более глубоких горизонтов.

Проведенные работы позволили ранжировать изучаемые объекты размещения отходов по уменьшению степени их влияния на окружающую среду:

<i>Свалка</i>	падь Бабасанова	>	п. Сотниково	>	п. Стеклозавод	>	п. Площадка
<i>Тип отходов</i>	<i>ТПрО</i>		<i>ТКО</i>		<i>ТКО</i>		<i>ЗШО</i>
<i>Год закрытия свалки</i>	1989		2015		2006		2023

Указанная последовательность может являться основанием для принятия решения о необходимости рекультивации нарушенных территорий.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включённых в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, Scopus, WoS

1. **Чередова Т.В.** Химическое загрязнение почвы в районах несанкционированных свалок г. Улан-Удэ / Т.В. Чередова, О.Н. Чудинова, С.Ж. Гулгенов, Ю.С. Воронина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. – 2021. – №07. – С. 46-49. – DOI: 10.37882/2223-2966.2021.07.36
2. **Чередова Т.В.** Минеральный состав и формы нахождения частиц твердого осадка снегового покрова на объектах захоронения промышленных и бытовых отходов / Т.В. Чередова, С.Г. Дорошкевич, Е.А. Хромова // Геосферные исследования. – 2023. – № 4. – С. 104-114. – DOI: 10.17223/25421379/29/7
3. **Чередова Т.В.** Поведение тяжёлых металлов в системе «почва–конденсат–растения» на объектах размещения отходов г. Улан-Удэ / Т.В. Чередова, С.Г. Дорошкевич, С.В. Бартанова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2023. – № 1. – С. 50-58. – DOI: 10.31857/S0869780923010022
4. **Чередова Т.В.** Этапы размещения промышленных и коммунальных отходов на территории города Улан-Удэ / Т.В. Чередова, С.Г. Дорошкевич // Экология урбанизированных территорий. – 2023. – № 2. – С. 51-54. – DOI: 10.24412/1816-1863-2023-2-51-54
5. **Чередова Т.В.** Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ / О.Н. Чудинова, Т.В. Чередова, А.А. Бутакова, А.П. Беспрозванных // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – Т. 32. - № 2. - С. 184-197. – DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197

Статьи в сборниках и материалах конференций

1. **Чередова Т.В.,** Дорошкевич С.Г., Ануфриева Е.С. Анализ макрокомпонентного состава подземных вод в районе размещения промышленных отходов в п. Площадка на территории г. Улан-Удэ // Современные проблемы экологии: доклады XXV межд. науч.-практич. конф. – Тула: Инновационные технологии, 2020. – С. 38-43.
2. **Чередова Т.В.,** Чудинова О.Н. Тяжелые металлы в почвах несанкционированных свалок г. Улан-Удэ // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии: мат-лы IV Всерос. науч. конф. с межд. участием: электронный вариант. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2021. – С. 521-524.
3. **Чередова Т.В.,** Дорошкевич С.Г. Изучение макрокомпонентного состава снежного покрова на территориях г. Улан-Удэ, подвергшихся техногенному изменению // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: мат-лы VI Всерос. молодеж. науч. конф.: электронный вариант. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2021. – С. 129-132.

4. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г., Чудинова О.Н. Особенности химического состава снежного покрова г. Улан-Удэ // Эволюция биосферы и техногенез: Мат-лы Всерос. конф. с межд. участием – Чита: ИПРЭК СО РАН, 2022. – С. 75-77.
5. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г. Фитотоксичность снежного покрова на техногенно-измененных территориях г. Улан-Удэ // Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты Внутренней Азии: Мат-лы II Всерос. научно-прак. конф. – Улан-Удэ: ВСГУТУ, 2021. – С. 138-143.
6. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г. Гранулометрический и минеральный состав твердого осадка снегового покрова на территориях г. Улан-Удэ, подверженных техногенному изменению // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование: Мат-лы XVII Межд. науч.-прак. конф. – Улан-Удэ: ВСГУТУ, 2022 – С.100-105.
7. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г. Химический состав растений полигонов бытовых отходов г. Улан-Удэ // Эволюция биосферы и техногенез: Мат-лы III Всерос. конф. с межд. участием – Чита: ИПРЭК СО РАН, 2022. – С. 343-346.
8. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г. Загрязнение почвенного покрова на объектах размещения промышленных и бытовых отходов (на примере г. Улан-Удэ) // Современные направления развития геохимии: Мат-лы Всерос. конф. (с участием зарубеж. ученых) – Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2022. – Т.2. – С. 217-219.
9. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К. Морфология и минеральный состав частиц твердого осадка снегового покрова на свалках г. Улан-Удэ // Геодинамика и минерагения Северной Евразии: Мат-лы VI Межд. науч. конф. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2023. – С. 581-584.
10. **Чередова Т.В.** О захоронении отходов на территории Республики Бурятия // Социальные и гуманитарные науки. Юриспруденция: Мат-лы Национальной науч.-прак. конф. ВСГУТУ «Образование и наука». – Улан-Удэ: ВСГУТУ, 2023. – С. 101-106.
11. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г. Химический состав конденсата в зоне влияния объектов захоронения бытовых отходов (на примере свалки г. Улан-Удэ) // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Труды V Всерос. науч. конф. с межд. участием. – Томск: ТПУ, 2023. – С. 179-182.
12. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г. Содержание урана, тория и калия в техногенных грунтах объекта захоронения промышленных отходов // Региональные проблемы – 2024. – Т. 27. – № 2. – С. 72-74.
13. **Чередова Т.В.**, Дорошкевич С.Г., Жамбалова Д.И. Обобщенные показатели и катионно-анионный состав подземных вод на полигоне ТКО Республики Бурятия // Подземная гидросфера: Мат-лы Всерос. совещания с международным участием по подземным водам Востока России – Екатеринбург: Институт горного дела ИГД УрО РАН, 2024. – С. 180-184.