

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН

На правах рукописи



Чередова Татьяна Викторовна

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

1.6.21 – Геоэкология

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук
Дорошкевич Светлана Геннадьевна

Улан-Удэ – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1 Современное состояние проблемы загрязнения окружающей среды от объектов захоронения отходов	8
1.1 Биогеохимические процессы, протекающие в теле полигона для захоронения отходов	8
1.2 Воздействие объектов захоронения отходов на компоненты окружающей среды	17
1.3 Мониторинг окружающей среды на объектах захоронения отходов	25
2 Геоэкологическая характеристика района исследования.....	36
2.1 Геоэкологическая характеристика г. Улан-Удэ и прилегающих территорий.....	36
2.2 Краткая историческая справка о захоронении отходов на территории Улан-Удэнской агломерации.....	48
3 Объекты и методы исследования	54
3.1 Объекты исследования	54
3.2 Методы исследования	65
4 Геоэкологическая оценка объектов размещения промышленных и коммунальных отходов	81
4.1 Химический состав почв/грунтов	81
4.2 Химический состав подземных вод	92
4.3 Химический состав испаряющейся влаги (конденсата).....	100
4.4 Химический и минеральный состав снегового покрова	106
4.5 Химический состав растений	122
4.6 Оценка токсичности сред, контактирующих со свалкой методами фитотестирования	135
4.7 Оценка уровня радиоактивности техногенных грунтов.....	138
Заключение	141
Список литературы	142
Приложение А. Географические координаты точек отбора проб на свалках	163
Приложение Б. Фотоматериалы	164
Приложение В. Морфологическое описание почв/грунтов объектов захоронения отходов и прилегающих территорий в пределах Улан-Удэнской агломерации	173
Приложение Г. Результаты корреляционного анализа	178

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Полигоны и свалки промышленных и коммунальных отходов представляют собой природно-техногенные объекты с определёнными законами развития, которые обусловлены физико-географическими условиями 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 в настоящее время, но не рекультивированные свалки твердых промышленных (ТПРО) и коммунальных отходов (ТКО), 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.

Методология и методы исследования. Работа выполнена в ФГБУН Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН). Исследования были проведены в период 2021-2023 гг. Отбор проб проводился непосредственно на теле свалок, в зоне их влияния и на условно-фоновых участках, подобранных индивидуально для каждой свалки. Пробы отбирались в соответствии с утверждёнными 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]. Пробы конденсата были отобраны с использованием мобильной установки по сбору конденсата, разработанной сотрудниками лаборатории гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН (Плюснин А.М, Залуцкий А.В.), принцип работы установки опубликован в работе Чередовой Т.В. [Чередова и др., 2023].

Анализ компонентов природной среды был проведён в аттестованных лабораториях с помощью классических и современных методов исследования. Макрокомпонентный состав подземных вод, снеговой воды и конденсата определялся в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) с помощью титриметрии, потенциометрии, гравиметрии, фотокolorиметрии и в Центре коллективного пользования (ЦКП) «Прогресс» ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (г. Улан-Удэ) с помощью метода капиллярного электрофореза. Гранулометрический состав нерастворимых частиц снегового покрова был установлен в ЦКП «Научные приборы» ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова» (г. Улан-Удэ) с помощью метода лазерной дифракции. Анализ морфологического и минерального состава нерастворимого 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 пирофосфата натрия; рН водной вытяжки – потенциометрическим методом; содержание гумуса – по методу Тюрина в модификации Никитина; обменные кальций и магний – трилоно-метрическим методом. Анализ микрокомпонентного состава снеговой воды, подземных вод, конденсата, а также растительных образцов был проведён 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) на свалочном теле 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).

Положения, выносимые на защиту

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 твёрдых 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*).

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.

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.

Научная новизна работы. Впервые в Забайкалье изучено влияние закрытых нерекультивированных 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 отсутствии их рекультивации.

Практическая значимость работы.

Проведенные изыскания позволили ранжировать изучаемые объекты размещения отходов по уменьшению степени их влияния на окружающую среду: падь Бабасанова > п. Сотниково > п. Стеклозавод > п. Площадка. Указанная последовательность 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 могут быть использованы при проведении лекционных, лабораторных и практических занятий по дисциплинам экологической тематики. Результаты работы внедрены в рабочие программы дисциплин для направления «Техносферная безопасность» в ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (Улан-Удэ), и направления «Геология» ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова» (Улан-Удэ).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях различного уровня: IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии» (Улан-Удэ, 2021 г.); VI, VII Всероссийские молодежные научные конференции «Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике» (Улан-Удэ – Горячинск, 2021 г.; Улан-Удэ – Максимиха, 2024 г.); II, III Всероссийские конференции с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез» (Чита, 2021 г. и 2022 г.); II Всероссийская научно-практическая конференция «Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты Внутренней Азии» (Улан-Удэ, 2021 г.); XVII Международная научно-практическая конференция «Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование» (Улан-Удэ, 2022 г.); Всероссийская конференция (с участием зарубежных ученых) «Современные направления развития геохимии», посвященная 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона (Иркутск, 2022 г.); VI Международная научная конференция «Геодинамика и минерагения Северной Евразии», посвященная 50-летию ГИН СО РАН (Улан-Удэ, 2023 г.); Национальная научно-практическая конференция «Образование и наука», посвященная 100-летию Республики Бурятия (Улан-Удэ, 2023 г.); V Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием имени профессора С.Л. Шварцева «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Томск, 2023 г.); X Всероссийская научная конференция с международным участием к 300-летию Российской академии наук «Современные проблемы регионального развития» (Биробиджан, 2024 г.); XXIV Совещание по подземным водам востока

Сибири и Дальнего Востока с международным участием (Екатеринбург, 2024 г.). Результаты работы были представлены на республиканском конкурсе научно-популярных докладов «Научные битвы – 2023» (Улан-Удэ, 2023 г.).

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

Содержание 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 – фоновые источники). Состоит из введения, 4 глав, заключения и приложений.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии во всех этапах работ. Проведён сбор и анализ фондовой и опубликованной литературы по геологическому строению, гидрогеологическим условиям, геохимическим особенностям почв/грунтов и растительности на изучаемых и сопряжённых территориях. В ходе полевых работ на объектах исследования проводился отбор проб и дальнейшая пробоподготовка почвенного, растительного материала, снегового покрова, подземных вод и испаряющейся влаги. Автором были проведены исследования морфологического и минерального осадка снегового покрова, поставлен и проведен эксперимент по определению фитотоксичности снега, почв/грунтов, обработаны и интерпретированы результаты химико-аналитических исследований отобранных проб почв/грунтов, растений, подземных вод, испаряющейся влаги. Полученный в ходе исследований материал, позволил автору провести эколого-геохимическую оценку на выбранных объектах исследования.

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. Плюсину, 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.

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.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ОБЪЕКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ

Результаты этой главы частично основаны на опубликованных ранее работах автора: п. 125, п. 126, п. 129 списка литературы.

1.1. Биогеохимические процессы, протекающие в теле полигона для захоронения отходов

Основная масса отходов производства и потребления в Российской Федерации в настоящее время не подвергается какой-либо переработке и вторичному использованию, а размещается на объектах захоронения: полигонах, санкционированных и несанкционированных свалках [ГОСТ Р 56598-2015] или накапливается на территориях промышленных предприятий, что в значительной мере усугубляет общую экологическую ситуацию, создает серьёзную опасность для здоровья работников предприятий и проживающего вблизи от них населения, влечёт за собой экономический ущерб за счет безвозвратных потерь потенциальных вторичных ресурсов.

Любой объект захоронения отходов представляет собой типичную природно-техногенную систему (ПТС), функционирование которой с наименьшим ущербом для окружающей среды возможно при объективном знании роли каждого компонента в формировании геофильтрационного поля данного массива. Полигоны промышленных и бытовых отходов являются техногенными геологическими объектами со своими прогнозируемыми законами развития, которые определяются физико-географическими условиями мест складирования, размерами полигонов, условиями их эксплуатации, составом отходов и характером микробиологических процессов, протекающих в толще отходов [Хазанов, 2003].

Основной сложностью при изучении таких ПТС является неоднородность захороненных отходов, связанная прежде всего с их различной плотностью, морфологическим и химическим составом. Насыпная плотность твёрдых коммунальных отходов в местах их образования зависит от уровня благоустройства жилищного фонда, климатических условий, времени года и других факторов. В среднем в городах России насыпная плотность для уплотнённых отходов варьирует от 0,09 т/м³ до 0,25 т/м³ [СП 320.1325800.2017]. На территории г. Улан-Удэ плотность твёрдых коммунальных отходов домовладений и административных учреждений принята 0,115-0,119 т/м³ [Территориальная схема, 2020]. Плотность отходов в уплотнённом состоянии на полигонах ТКО при уплотнении бульдозером составляет 0,65-0,80 т/м³, при уплотнении компактором – 900-1100 т/м³ [СП 320.1325800.2017]. От плотности складированных отходов зависит их влаж-

ность и фильтрационные свойства. Так, по мере возрастания плотности отходов с глубиной уменьшаются фильтрационные свойства и повышается их влажность, что было установлено в частности для полигонов Свердловской области [Гуман, 2008].

Состав захороненных отходов зависит от типа объекта захоронения отходов. На территории Республики Бурятия наиболее распространены полигоны коммунальных отходов, золошлакоотвалы, полигоны промышленных отходов предприятий (в т.ч. хранилища отходов горнодобывающего и горнообогатительного производств).

Полигоны коммунальных отходов

Состав коммунальных (бытовых) отходов достаточно разнообразен и может различаться в зависимости от экономического благосостояния региона, типа населённого места (город, деревня), климатических особенностей местности. Состав компонентов ТКО различных городов могут не совпадать, но в целом по категориям распределяются примерно одинаково [Быков и др., 2007]. Как правило, в России при анализе морфологического состава отходов выделяют около 10-15 компонентов. Это пищевые отходы, бумага, картон, древесина, текстиль, кожа, резина, полимерные материалы, металл, стекло, камни, шлаки [Гарин, 2005]. Для стран со средневысоким доходом, к которым отнесена и Россия, процент образования органических отходов составляет 54%, бумаги и картона – 14%, пластика – 11%, металла – 3%, стекла – 5% [Соломин, 2017]. Хотя в работах других авторов [Барышева и др., 2017], напротив, указано, что основным компонентом бытовых отходов (по массе) являются бумага и картон – 36,6 %, далее следуют пищевые отходы – 27,5%, древесина, стекло, металл, текстиль и пластик – в сумме около 20%, остальная часть представлена прочими отходами и отсевом. Для городов Самарской области содержание бумаги и картона в ТБО составляет 38% по массе, пищевых отходов – 30%, полимеров – 5,5% [Быков и др., 2007]. В г. Санкт-Петербург содержание (по массе) бумаги достигает 28,7%, полимерных компонентов – 26,2%, пищевых отходов – 9,8%, стекла – 13,8% [Шавва, 2018]. Практика эксплуатации полигонов показала, что в составе захороненных отходов зачастую встречаются и опасные компоненты: ртутные термометры, люминесцентные лампы, фотоэлементы, лакокрасочные материалы, просроченные пестициды и лекарственные средства [Ильиных, 2013; Рыжакова, 2014; Чередова, 2023]. При разработке в 2019 г территориальной схемы в области обращения с отходами в г. Улан-Удэ установлено, что в состав твёрдых коммунальных отходов входят опасные компоненты, содержание которых в сумме достигает 0,52% от массы ТКО (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Морфологический состав ТКО г. Улан-Удэ [по данным Приказ МПР РБ от 29.04.2020 № 159-ПР]

№ п/п	Компонент	Процентное содержание, % по массе
1	Пищевые отходы	65,8
2	Бумага, картон	6,00
3	Дерево	4,12
4	Черный, цветной металл	1,26
5	Текстиль	2,21
6	Пластмасса (ПЭТ, пленка и прочий пластик)	11,7
7	Стекло	6,45
8	Тетрапак	0,61
9	Опасные отходы: батарейки, аккумуляторы, тара от растворителей, красок, лаков, ртутные лампы, лекарства	0,52

Химический состав ТКО связан с их морфологическим составом (таблица 1.2). Основным вкладчиком углерода в состав коммунальных отходов являются текстиль, древесина, кожа и пластик, содержание углерода в данных компонентах составляет более 40 %; повышенную зольность ТКО придают шлаки и отсев – содержание золы в них более 50%; максимальную влажность приносят пищевые отходы, содержание влаги в которых составляет 72%.

Таблица 1.2 – Усредненный элементный состав отдельных компонентов коммунальных отходов [по данным Соломин, 2017]

Наименование компонента	Состав, %						
	Углерод	Водород	Кислород	Азот	Сера	Зола	Влажность
Бумага	27,7	3,7	26,3	0,16	0,14	15,0	25
Пищевые отходы	12,6	1,8	8,00	0,95	0,15	4,50	72
Текстиль	40,4	4,9	23,2	3,40	0,10	8,00	20
Древесина	40,5	4,8	33,8	0,10	-	0,80	20
Отсев	13,9	1,9	14,1	-	0,10	50,0	20
Пластмасса	55,1	7,6	17,5	0,90	0,30	10,6	8
Зола, шлак	25,2	0,5	0,70	-	0,45	63,2	10
Кожа, резина	65,0	5,0	12,6	0,20	0,60	11,6	5
Прочее	47,0	5,3	27,7	0,10	0,20	11,7	8
Стекло, металл, камни	-	-	-	-	-	100	-

Шлакозолоотвалы

Химический состав отходов золы и шлака зависит от типа сжигаемого топлива. На территории Республики Бурятия распространёнными видами топлива являются каменные угли Тугунуйского, Черемховского месторождений и бурые угли Бородинского, Загустайского, Хольбоджинского, Окино-Ключевского месторождений. Согласно данным сертификатов на угли, петрографический состав углей представлен в основном витринитом (84%), семивитринитом (2%), липтинитом (1%), инертинитом (5%). Усредненный элементный состав угля в рабочем состоянии включает в себя макроэлементы: углерод (75,2%), водород (5,7%), азот (1,3%), кислород (17,6%), фосфор (0,001%), хлор (0,04%), мышьяк (0,0005%) и микроэлементы: цинк, хром, кобальт, никель, марганец, молибден, медь, барий, стронций. Химический состав летучей золы угля (таблица

1.3) представляет собой смесь оксидов литофильных (Si, Al, Ca, Mg, Ti, P, Na, K), халькофильных (S) и сидерофильных (Fe) элементов (по классификации В. М. Гольдшмидта).

Таблица 1.3 – Усредненный химический состав золошлаков (для угля Тугнуйского месторождения) [по данным Паспорта на уголь Тугнуйского месторождения]

Наименование компонента	Содержание, %
Кремния оксид (SiO ₂)	63,8
Алюминия оксид (Al ₂ O ₃)	19,5
Кальция оксид (CaO)	1,43
Железа оксид (Fe ₂ O ₃)	7,70
Магния оксид (MgO)	1,53
Калия оксид (K ₂ O)	2,70
Натрия оксид (Na ₂ O)	0,71
Титана оксид (TiO ₂)	1,20
Марганца оксид (MnO ₂)	0,16
Серы оксид (SO ₃)	0,47
Фосфора оксид (P ₂ O ₅)	0,80

Летучая зола углей содержит в себе также драгоценные и редкоземельные металлы. Содержание редкоземельных элементов в летучей золе каменных и бурых углей Тугнуйского и Хольбоджинского месторождений Республики Бурятия составляет (г/т): иттрий – 24,8-37,4; лантан – 49,5-60,2; церий – 141-121; празеодим – 9,7-15; неодим – 42,8-54,7; самарий – 9,9-10,5; европий – 1,4-2,4; гадолиний – 9,7-12,5; тербий – 1,31-1,62; диспрозий – 7,2-9,1; гольмий – 1,58-1,83; эрбий – 4,3-5,4; иттербий – 3,6-4,8; также в летучей золе обнаружены стронций – 2176-2764 и гафний – 3,5-6,6 [Самбуева, 2020]. Содержание драгоценных металлов в углях Дальнего востока достигает (г/т): золото – 0,1; платина – 0,025; серебро – 5. При этом содержание ценных компонентов в золошлаковых отходах выше, чем в исходных углях [Таскин, 2014].

Полигоны промышленных отходов

Химический состав отходов, размещаемых на промышленных полигонах неразрывно связан с технологическим процессом, являющимся источником их образования. Так, вскрышные породы отвалов месторождений полезных ископаемых содержат остаточные концентрации ценных (Au, W, Mo, Pb, Zn и др.) и сопутствующих (Cu, Ag, As и др.) элементов, перечень которых зависит от вида добываемого сырья. Хранилища отходов обогатительных фабрик горнодобывающего производства, как правило, заполнены не только сопутствующими не извлеченными компонентами, но и насыщены химическими элементами, входящими в состав выщелачивающих

растворов [Ларионова, 2019]. В целом отходы горнодобывающей промышленности, размещаемые на полигонах, характеризуются значительным тоннажем и относительно равномерным химическим составом, установить который относительно несложно. Иначе обстоят дела при изучении химического состава отходов, размещаемых на полигоне промышленных отходов, предназначенном для приема отходов различных предприятий. При отсутствии должного учёта приёма таких отходов, установить их точный химический состав почти невозможно. Примером может являться свалка промышленных отходов в северо-восточной части г. Улан-Удэ в местности падь Бабасанова, действующая на территории города в 1960–1989 гг. Подробный исторический учёт отходов, размещаемых на этой свалке не велся. Известно лишь, что основным поставщиком отходов являлся Улан-Удэнский авиационный завод, размещающий на свалке наряду с инертными строительными и промышленными отходами (бой бетона, кирпича, металл и т.п.) достаточно опасные компоненты: отходы гальванических ванн, обтирочный материал, тару от лакокрасочных материалов, смазывающие охлаждающие жидкости. Также на свалку свозили свои отходы и другие промышленные предприятия города [Чередова, 2023].

Весомый вклад в формирование методической базы, касающейся количественной оценки воздействия на различные компоненты окружающей среды полигонов промышленных и бытовых отходов, внесли работы научно-исследовательских институтов: АКХ им. К.Д.Памфилова, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», НИИ экологии человека и окружающей среды им. А.Н. Сысина, НИИ охраны атмосферного воздуха (НИИ Атмосфера), НИИ гидротехники им. Б.Е. Веденеева, а также научно-производственные предприятия: НПП «Экопром», ЗАО «НПП «Логус», группа компаний «Интеграл» и др. Научными институтами разработаны правила проектирования, эксплуатации и рекультивации полигонов ТКО, методические рекомендации для расчета количественных характеристик выбросов биогаза от полигонов промышленных и бытовых отходов, методики для расчета фильтрата, а научно-производственными предприятиями предложен ряд программных продуктов для автоматизации расчетов.

Проведенный объем аналитических работ разных авторов позволяет выявить процессы, протекающие в теле полигона. При разложении отходов протекают одновременно физические, физико-химические, химические и биохимические процессы. К физическим и физико-химическим процессам относятся уплотнение, сжатие, уменьшение размера частиц, растворение, адсорбция, ионный обмен и др. Увеличение плотности и уменьшение размера частиц способствуют адсорбции воды, повышению влажности отходов и ускоряют их разложение. К химическим процессам относятся окислительно-восстановительные и фотохимические реакции, гидролиз, деполимеризация, образование труднорастворимых и комплексных соединений, зависящие от содер-

жания кислорода в теле свалки, величины рН, окислительно-восстановительного потенциала различных фракций отходов и др. К химическим процессам относятся окислительно-восстановительные и фотохимические реакции, гидролиз, деполимеризация, образование труднорастворимых и комплексных соединений, зависящие от содержания кислорода в теле свалки, величины рН, окислительно-восстановительного потенциала различных фракций отходов и др.

В начальный период (около года) процесс разложения отходов носит характер их окисления, происходящего в верхних слоях отходов, за счет кислорода воздуха, содержащегося в пустотах и проникающего из атмосферы [Методика расчета количественных характеристик, 2004]. Затем по мере естественного и механического уплотнения отходов и изолирования их грунтом усиливаются анаэробные процессы с образованием биогаза, являющегося конечным продуктом биотермического анаэробного распада органической составляющей отходов под воздействием микрофлоры. Биогаз через толщу отходов и изолирующих слоев грунта выделяется в атмосферу, загрязняя ее. Если условия складирования не изменяются, процесс анаэробного разложения стабилизируется с постоянным по удельному объему выделением биогаза практически одного газового состава. Скорость минерализации отходов возрастает с ростом времени захоронения отходов, так, в течение первого года эксплуатации полигонов ТКО минерализация отходов наблюдается на 12 см, за второй год – на 21 см, за третий год – на 27 см и т.д. [Методика расчета количественных характеристик, 2004]. По данным А.М. Кропачева [Кропачев, 1998] при закрытии свалок биохимические процессы затухают и примерно через 20 лет свалка твердых бытовых отходов превращается в инертное тело.

В процессе распада органической составляющей твердых отходов на полигонах выделяют пять фаз [Методика расчета количественных характеристик, 2004]:

- 1-я фаза – аэробное разложение;
- 2-я фаза – анаэробное разложение без выделения метана (кислое брожение);
- 3-я фаза – анаэробное разложение с непостоянным выделением метана (смешанное брожение);
- 4-я фаза – анаэробное разложение с постоянным выделением метана;
- 5-я фаза – затухание анаэробных процессов.

Первая и вторая фазы имеют место в первые 20-40 дней с момента укладки отходов, продолжительность протекания третьей фазы — до 700 дней. Длительность четвертой фазы определяется местными климатическими условиями и для различных регионов России колеблется в интервале от 10 лет (для южных районов) до 50 лет (для северных районов).

Для подробного описания процессов, протекающих в теле полигонов предложена «гидрогеохимическая модель полигона ТБО», подразумевающая идеализированное инженерное представление о комплексе химических, биохимических и физических процессов, происходящих в

теле полигона [Гуман, Долинина, 2003]. Согласно данной модели на свалках толщиной более двух метров сверху вниз выделяют три зоны: аэробную, переходную и анаэробную, которые различаются протекающими в них геохимическими процессами. Аэробная зона прослеживается до глубины 1 м и считается глубиной проникновения кислорода тропосферы. В этой аэробной зоне устанавливается окислительная среда с величиной окислительно-восстановительного потенциала (Eh) ~ 120-160 мВ. Наличие кислорода в этой зоне способствует активному развитию и участию микроорганизмов-деструкторов. Биохимической деструкции в этой среде подвергаются прежде всего углеводы, жиры, органические кислоты, углеводороды и другие соединения. Предварительное разрушение органических соединений в этой среде происходит в результате гидролиза и окисления. В процессе разложения органических соединений образуется широкий спектр органических кислот (гуминовых, жирных, фульвокислот), а также спиртов и воды. При повышенной влажности среды и наличии в воде растворенного кислорода в аэробной зоне наблюдается коррозия металлов, протекающая как посредством химических процессов окисления с образованием сульфатов соответствующих металлов и серной кислоты, так и за счет деятельности групп микроорганизмов, окисляющих закисное железо, разлагающих органические комплексы металлов или разлагающие сульфиды металлов. Образование органических кислот приводит к понижению кислотности среды в жидкой фазе с pH 7,5-7 до 5-4, что способствует окислению не только металлов с образованием в растворимых в воде сульфатов, карбонатов, фосфатов, нерастворимых оксидов и гидроксидов, но и окислению соединений серы, азота, фосфора с образованием сульфатов, нитратов, фосфатов и других соединений. Неорганические соединения, в том числе металлы, обладают в кислой среде повышенной подвижностью и легко переходят в раствор, в большей степени Mg, Ca, Mn, Fe, Zn, в меньшей степени Pb, Cd, Cr, Ni, Cu. Процессы биохимической деструкции способствуют образованию значительного перечня газообразных продуктов: белковые соединения разлагаются с образованием аммиака, серосодержащие соединения – сероводорода, углеродистые соединения – углекислого газа и летучими органическими веществами. Таким образом, в аэробной зоне миграционный поток, направленный вверх, представлен углекислым газом и летучими органическими и неорганическими веществами. Миграционный поток, направленный вниз, в переходную зону, содержит водорастворимые сульфаты, нитраты, карбонаты, фосфаты различных элементов.

Переходная зона располагается на глубинах от 1 м до 2,5 м. Для переходной зоны характерен более низкий окислительный потенциал и слабое развитие аэробных бактерий. Основными процессами в данной зоне являются гумификация органических веществ и денитрификация окислов азота. В результате гумификации образуются угольная, фульвовая кислоты и металл-фульвовые комплексы. А бактерии-денитрификаторы восстанавливают нитраты до нитритов и азота,

при этом из органических веществ в раствор переходят калий, фосфор и другие биофильные элементы. Восходящий миграционный поток в переходной зоне представлен углекислым газом, окислами азота и азотом; нисходящий миграционный поток содержит фульвокислоты, металл-фульвовые комплексы, ионы биофильных элементов.

Анаэробная зона располагается на глубинах более 2,5 м, характеризуется отсутствием кислорода, $E_h \sim 200-300$ мВ и нейтральной средой с pH 7-7,5. В таких условиях активно развиваются анаэробные бактерии, которые осуществляют гидролиз оставшихся органических веществ, к которым могут относиться целлюлоза, пектины и др. Продуктами гидролиза являются низкомолекулярные соединения, которые подвергаются сбраживанию с образованием водорода, угольной, уксусной и других органических кислот, ароматических и алифатических соединений. Угольная и уксусная кислоты являются источником углерода для метановых бактерий, которые вырабатывают метан. Метанообразование – конечная стадия биогенеза на полигонах для захоронения коммунальных отходов. В состав восходящего газового потока при анаэробном разложении отходов в вышележащие зоны поступают метан, также при определенных условиях могут поступать оксиды углерода, сероводород, легколетучие углеводороды и органические соединения тяжелых металлов. Нисходящий поток содержит гуминовую и фульвовую кислоты, металл-фульвовые комплексы, угольную, сероводородные и другие органические кислоты.

На полигонах промышленных отходов механизм протекания химических реакций вероятнее всего, аналогичный. К преобладающим процессам в теле полигона промышленных отходов относятся окисление и гидролиз органического и минерального вещества. Отличительной особенностью полигонов промышленных отходов, является относительно низкое, по сравнению с полигонами бытовых отходов, содержание легко усвояемого микроорганизмами органического вещества, являющегося основным субстратом для деятельности бактерий нитрификаторов и метаногенов, поэтому полигоны промышленных отходов не характеризуются интенсивным выделением биогаза. Тем временем, полигон промышленных отходов является биокосной системой, для которой свойственно протекание процессов микробиологической деструкции [Переломов и др., 2013]. К таким процессам могут относиться биосорбция, биоаккумуляция, трансформация соединений микроэлементов в результате окислительно-восстановительных реакций или в результате алкилирования, секреция микроорганизмами органических и неорганических метаболитов (рисунок 1.1).

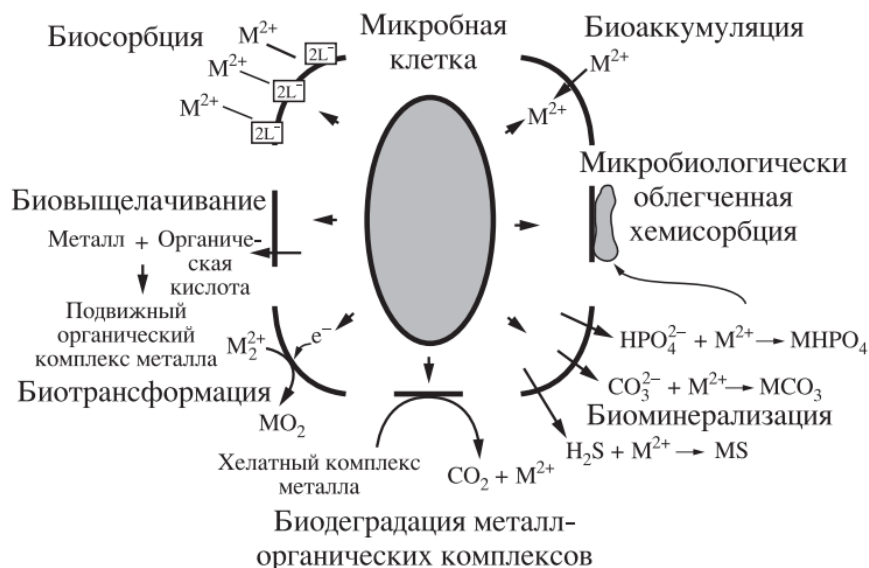


Рисунок 1.1 – Основные процессы взаимодействия микроорганизмов с микроэлементами [Tabak et al., 2005, Переломов и др., 2013]

В результате протекания выше перечисленных процессов могут образовываться продукты, значительно отличающиеся по подвижности и токсичности от исходных веществ. Органические вещества, появляющиеся в результате функционирования микроорганизмов, могут изменять подвижность микроэлементов, за счет образования комплексов «металл-органический лиганд» в виде хелатов и внутриклеточных соединений или образования осадков. Микроорганизмы могут влиять также на мобильность микроэлементов косвенно, посредством изменения физико-химических характеристик среды (рН, Eh) и создания благоприятных для миграции большинства элементов окислительных условий. Таким образом, в теле полигонов промышленных отходов, существуют все предпосылки для создания особых физико-химических и биологических условий для деградации захороненных отходов. Однако скорость такой деградации скорее всего будет ниже, по сравнению с полигонами бытовых отходов. Пониженная скорость биодеградации может быть связана с нетипичным для природной среды составом отходов, захораниваемых на полигонах промышленных отходов. Как правило, в составе таких отходов содержатся тяжело усвояемые живыми организмами вещества, что приводит к продлению сроков адаптации микроорганизмов-деструкторов и выработки у них соответствующих функций.

Объекты захоронения отходов являются природно-техногенными системами, обладающими своими свойствами, структурой и этапами жизненного цикла. Основным элементом таких систем являются захороненные отходы, состав которых может варьироваться в широких диапа-

зонах. К преобладающим компонентам коммунальных отходов относятся пищевые отходы, бумага, пластик, текстиль. Вместе с тем, в состав ТКО входят и опасные компоненты: ртутные лампы, термометры, батарейки, лекарственные средства. Основными компонентами промышленных отходов являются остатки сырья и материалов, применяемых в технологических процессах разных производств. Зачастую, в составе промышленных отходов также встречаются опасные элементы и агрессивные вещества, активно вступающие в биогеохимические процессы, протекающие в теле свалки. Сочетание интенсивно протекающих биогеохимических процессов в теле полигонов и потенциально опасных химических элементов в составе захораниваемых отходов приводит к интенсивному воздействию объектов захоронения отходов на основные контактирующие среды окружающей среды: почву, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительность.

1.2. Воздействие объектов захоронения отходов на компоненты окружающей среды

Образование отходов производства и потребления является неотъемлемым сопутствующим процессом любой антропогенной системы [Калюжина, 2014]. Поэтому с проблемами захоронения отходов в той или иной мере сталкивается все мировое сообщество [Bove et al., 2010; Hong et al., 2010; Thushari et al., 2020; Wang et al., 2021]. Химический состав, интенсивность и продолжительность эмиссий на объектах захоронения отходов носят индивидуальный характер для каждого полигона и зависят от качественного и количественного состава складированных отходов, природных условий участка размещения полигона, интенсивности процессов разложения отходов. Несмотря на то, что закономерности метаногенеза достаточно хорошо изучены, конкретные ответы на вопросы о том, какие полигоны представляют наибольшую опасность, при какой степени разложения отходов свалочные тела не представляют угрозы для окружающих экосистем, пока отсутствуют [Романова, Намазова, 2007]. В связи с тем, что проблема захоронения отходов актуальна для всех стран мира, учёными подробно изучаются вопросы воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на состояние окружающей среды.

Захоронение твердых коммунальных отходов на стихийно образованных объектах захоронения, не обустроенных в соответствии с экологическим законодательством, приводит к значительному загрязнению почвенного покрова. Почвы в районе размещения несанкционированных свалок характеризуются повышенными содержаниями Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Ni и др. элементов, относящихся к группе тяжелых металлов [Иванова и др., 2012; Чередова и др., 2021]. Негативное воздействие загрязненных почв на человека может быть прямым (при пылении почв) либо косвенным (при употреблении в пищу растительной продукции, выращенной на данных участках

или на участках, где когда-либо располагались несанкционированные свалки, а также при использовании в хозяйственно-питьевых целях поверхностных или подземных вод, испытывающих влияние свалок).

Сложностью при изучении загрязнения почв на свалках является неравномерность состава захораниваемых отходов, приводящая к широкому разбросу концентраций химических элементов в почвах/грунтах. К примеру, при анализе почв на свалке коммунальных отходов г. Тунис были установлены следующие концентрации химических элементов в почвах/грунтах (мг/кг): Cu – 0,2-1,8; Pb – 5,6-16,1; Ni – 15,1-43,9; Zn – 4,1-81,8; Cr – 54,4-129,9 [Bouzayani et al., 2014], а анализ почв на полигонах коммунальных отходов Ульяновской области показал, что содержание Cu варьирует в пределах (мг/кг) 16,7-28; Pb – 12,6-24,3; Ni – 19,5-30,8; Zn – 37,8-57,8; Cr – 15,6-26,4 [Романова, Намазова, 2007]. Значительное количество тяжелых металлов в почвах с территорий свалок превышает уровни ПДК: превышение по Cd в среднем варьируется от 2,3 до 7 ПДК, по Zn – от 1,7-2,1 ПДК, по Cu от 1,2 до 2 ПДК, по Pb – от 1,4 до 2 ПДК, по Cr – от 1,1 до 1,3 ПДК. Изучение загрязнения почв/грунтов с глубиной в зоне влияния свалок показало, что латеральная миграция загрязняющих веществ менее значима по сравнению с вертикальной миграцией [Bouzayani et al., 2014]. Поэтому основания объектов захоронения отходов должны быть оборудованы водонепроницаемым слоем.

Установлено, что свалки являются крупнейшим антропогенным источником поступления в окружающую среду свалочного газа [Wang et al., 2021]. Свалочный газ (биогаз), с одной стороны, является источником загрязнения атмосферного воздуха и источником пожаро- и взрывоопасности на полигоне, с другой стороны – вторичным энергетическим ресурсом [Малкин, 2022; Бобоев, 2018]. Интенсивность образования и состав биогаза на свалках достаточно широко варьируются. Это связано с химическим составом захороненных отходов, плотностью отходов, доступом кислорода и воды, климатическими особенностями района захоронения. Органические вещества, содержащиеся в отходах, обладают различной интенсивностью разложения. Так, резина, кожа, полимерные материалы и т.п. разлагаются микроорганизмами очень медленно, в то время как органические составляющие отходов, содержащие белковые вещества, крахмал, разлагаются очень быстро. Таким образом, можно считать, что органическая составляющая отходов состоит из «пассивного» (не генерирующего или очень медленно генерирующего) и «активного» (генерирующего) органического вещества. К основным компонентам биогаза относятся: метан, диоксид углерода, аммиак и другие вещества (таблица 1.4). Указанный состав используется при расчетном методе инвентаризации выбросов на действующих объектах захоронения коммунальных отходов.

Таблица 1.4 – Среднестатистический состав биогаза [по данным Методики расчета количественных характеристик, 2004]

Наименование вещества	C _{весс.} %	Плотность, кг/м ³
Метан	52,92	0,717
Толуол	0,723	0,867
Аммиак	0,533	0,771
Ксилол	0,443	0,869
Углерода оксид	0,252	1,250
Азота диоксид	0,111	1,490
Формальдегид	0,096	0,815
Этилбензол	0,095	0,867
Ангидрид сернистый	0,070	2,930
Сероводород	0,026	1,540
Углерода диоксид	0,252	1,977

Процессы, протекающие в теле полигонов, помимо биогаза, являются источниками образования фильтрата, представляющего собой сложную многокомпонентную систему химических соединений с непостоянным составом. Формирование фильтрата происходит в результате совместного действия процессов аэробного и анаэробного разложения отходов, инфильтрации атмосферных осадков в толщу отходов, проникновения в отходы подземных и поверхностных вод. Образование фильтрата происходит при массовой влажности органосодержащих твердых бытовых (коммунальных) отходов в пределах 30-80 %; в качестве стартовой влажности начала процесса перегнивания принято считать влажность 50 %. Химический состав воды фильтрата варьируется в широких пределах, среди тяжелых металлов преобладают железо, кадмий, кобальт, марганец, медь, мышьяк, никель, свинец, титан, хром, цинк (таблица 1.5). Кроме того, в фильтрате присутствуют жирные кислоты, фенолы, спирты, эфиры, парафин, алкалоиды, хлорорганические соединения, полициклические ароматические углеводороды, а также жизнеспособные микроорганизмы различных физиологических групп: сапрофиты, сульфатвосстанавливающие, метаногенные, окисляющие углеводороды [Гуман, 2009; Podlasek et al., 2023].

Таблица 1.5 – Химический состав фильтрата на свалках коммунальных отходов [по данным El-Fadel et al., 2002; Аль-Ахваль, 2011]

Показатель	Концентрация, мг/дм ³			
	г. Санкт-Петербург (Россия)	г. Москва (Россия)	г. Сана (Йемен)	В среднем по миру на свалках ТКО
pH	7,05	7,80	6,80	1,50-9,50
Взвешенные вещества	2000	157	320	-
Азот аммонийный	590	491	525	0-1250
Нитраты	1600	19,4	11,4	0-9,80
Азот нитритный	14,0	0,097	0,04	0-1,46
Хлориды	350	2800	2279	11,375
Сульфаты	35,0	490	500	0-1,85
Марганец	1,32	0,10	17,0	0,05-1,40
Калий	55,0	460	1550	0,16-3,37
Кальций	243	190	3687	4,08-5,0
Магний	80,0	140	394	0-115,6
Железо	36,0	2,96	25,5	0-42,0

Продолжение таблицы 1.5

Показатель	Концентрация, мг/дм ³			
	г. Санкт-Петербург (Россия)	г. Москва (Россия)	г. Сана (Йемен)	В среднем по миру на свалках ТКО
Натрий	153	1700	3600	0-8,0
Никель	0,31	0,34	2,78	0-7,50
Хром общий	0,31	0,14	0,162	0-22,5
Свинец	0,22	0,05	2,525	0-14,2
Кадмий	-	-	1,575	0-1,16
Медь	0,32	0,23	12,8	0-9,90
Нефтепродукты	0,20	0,71	0,80	-
Карбонат ион	1820	1820	3050	-

Химический состав фильтрата зависит не только от количества атмосферных осадков и химического состава отходов, но и от возраста полигона (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Химический состав фильтрата на свалках разного возраста [по данным Farquhar, 1989; El-Fadel et al., 2002]

Показатель, мг/дм ³	Возраст свалки (годы)			
	0-5	5-10	10-20	> 20
Биологическое потребление кислорода (БПК)	10-25	1000-4000	50-1000	< 50
Химическое потребление кислорода (ХПК)	15-40	10-20	1000-5000	< 1000
Азот аммонийный	500-1500	300-500	50-200	< 30
Минерализация (TDS)	10-25	5000-10000	2000-5000	< 1000
pH	3-6	6-7	7-7,5	7,5
Кальций	2000-4000	500-2000	300-500	< 300
Натрий и калий	2000-4000	500-1500	100-500	< 100
Магний и железо	500-1500	500-1000	100-500	< 100
Цинк и алюминий	100-200	50-100	10-50	< 10
Хлорид-ион	1000-3000	500-2000	100-500	< 100
Сульфат-ион	500-2000	200-1000	50-200	< 50
Фосфат-ион	100-300	10-100	-	< 10

Фильтрат молодых свалок (0-5 лет) характеризуется повышенным содержанием аммонийного азота, основных катионов (K^+ , Na^+ , Mg^{+2}) и анионов (SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-}), что связано с активным протеканием процессов аэробной деструкции и окисления органических и неорганических соединений. К возрасту захоронения отходов 5-10 лет наблюдаются максимальные значения общей минерализации фильтрата, БПК и содержания некоторых металлов. Повышенной миграции металлов в фильтрат в этот период способствует окислительная среда, которая образуется в теле свалки на первоначальных этапах захоронения отходов. С увеличением возраста свалки отмечается снижение активности аэробных процессов и интенсивное протекание анаэробных процессов в глубине захороненных отходов, что отражается в повышении реакции pH до нейтральной и рост показателя ХПК на фоне снижения БПК. К возрасту 20 лет захоронения отходов процессы аэробного и анаэробного разложения компонентов отходов стабилизируются, фильтрат, образу-

ющийся к этому времени, слабоминерализованный, с нейтральной реакцией среды и концентрацией некоторых катионов и анионов в пределах установленных норм ПДК. Аналогичное изменение химического состава фильтрата от возраста захоронения отходов было выявлено на некоторых свалках разных стран Европы, Америки и Азии (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Химический состав фильтрата на свалках разного возраста [по данным Bove et al., 2015]

Страна	Показатель				
	ХПК, мг/дм ³	БПК, мг/дм ³	БПК/ХПК	pH	N (NH ₄ ⁺), мг/дм ³
Молодые свалки					
Канада	13,8	9,70	0,70	5,80	42,0
Китай	15,7	4,20	0,27	7,70	2,26
Греция	70,9	26,8	0,38	6,20	3,10
Италия	19,9	4,00	0,20	8,00	3,92
Турция	20,0	11,0	0,55	7,80	2,50
Свалки среднего возраста					
Китай	5,80	430	0,07	7,60	-
Германия	3,18	1,06	0,33	-	840
Греция	5,35	1,05	0,20	7,90	940
Гонконг	6,61	1,60	0,24	6,40	1,50
Италия	5,05	1,27	0,25	8,40	1,13
Польша	1,18	331	0,28	8,00	743
Турция	9,50	-	-	8,10	1,27
Старые свалки					
Бразилия	6,41	813	0,02	8,20	1,81
Китай	2,20	100	0,05	8,00	2,00
Финляндия	556	62,0	0,11	-	159
Франция	500	7,10	0,01	7,70	430
Германия	1,23	290	0,26	-	445
Греция	2,46	-	-	8,40	238
Италия	1,76	301	0,17	8,00	1,06
Польша	732	51,0	0,07	8,10	340
Испания	3,92	123	0,03	8,50	5,98
Вьетнам	3,62	425	0,12	8,40	3,45

Анализ химического состава фильтрата (см. таблицу 1.7) показал, что с увеличением возраста свалки наблюдается повышение реакции pH от слабокислой и нейтральной до щелочной, также снижается отношение БПК/ХПК, что свидетельствует об уменьшении легко-окисляемой фракции органических соединений в составе фильтрата, связанной с протеканием активной фазы аэробного окисления отходов на начальных этапах складирования отходов и стабилизации процессов биогеохимического окисления отходов.

Формирующийся в теле полигона фильтрат оказывает значительное воздействие на качество подземных вод, что подтверждается результатами мониторинговых наблюдений во всех странах мира [Трофимова, 2019; Кешева, 2023; Liu et al., 2021; Oyebode et al., 2023]. Влияние полигонов проявляется в изменении гидрохимического типа грунтовых вод, росту их электропроводности и снижению величины pH [Злобина и др., 2021]. В подземных водах, протекающих

в зоне влияния полигонов ТКО, наблюдаются превышения норм ПДК по ряду показателей (раз): минерализации – до 3,1; ХПК – до 10,2; нефтепродуктов – до 27,2; хлоридов – до 3,0; аммоний-иона – до 2,7; марганца – до 19; фенолов – до 82; нитритов – до 9,0; железа – до 3,9 [Трофимова, 2019, Галиция и др., 2022]. В таблице 1.8 представлены данные о величине превышения концентраций загрязняющих веществ в наблюдательных скважинах ($C_{\text{набл}}$) над фоновыми значениями ($C_{\text{фон}}$), полученные в результате мониторинга подземных вод в районе размещения 28 полигонов коммунальных отходов Республики Беларусь.

Таблица 1.8 – Анализ качества подземных вод в районе объектов захоронения отходов Республики Беларусь [по данным Волчек, 2022]

Наименование химического показателя	$C_{\text{набл}}/C_{\text{фон}}^*$	Наименование химического показателя	$C_{\text{набл}}/C_{\text{фон}}^*$
Аммоний-ион	1,67-2,40	Цинк	1,88-3,67
Нитрат-ион	2,77-2,92	Хром	0,46-2,14
Сульфат-ион	1,87-10,3	Минерализация воды	1,68-5,97
Хлорид-ион	1,40-5,78	Нефтепродукты	2,64-2,91
Фосфат-ион	1,56-2,04	Кобальт	0,37-1,36
Железо общее	2,29-3,11	Свинец	0,27-1,30
Марганец	3,02-3,55	Кадмий	0,58-1,40
Медь	1,93-3,15	Ртуть	0,34-1,50

*Примечание: $C_{\text{набл}}$ – концентрация загрязняющих веществ (ЗВ) в наблюдательной скважине; $C_{\text{фон}}$ – концентрация ЗВ в фоновой скважине.

Данные в таблице 1.8 показывают, что в подземных водах вблизи полигонов наблюдаются повышенные содержания по сравнению с фоном аммоний-иона, сульфатов, хлоридов, нефтепродуктов, ионов железа, марганца, хрома, свинца, ртути, кадмия и других опасных элементов.

Изменения в составе подземных вод приводят к нарушению физико-химического равновесия в водоносной системе в зоне расположения объектов захоронения отходов. В таблице 1.9 приведены результаты термодинамических расчетов воздействия фильтрата на подземные воды в четвертичных отложениях и известняках на примере полигона «Щербинка» Московской области.

Таблица 1.9 – Результаты термодинамического моделирования воздействия фильтрата на подземные воды [по данным Злобина и др., 2021]

Горизонт	Показатели				
	pH	CO ₂ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	S- кальцит	S- доломит
Фильтрат техногенный	6,6	1	420	0,25	1,55
Четвертичные отложения до загрязнения фильтратом	7,2	20	26	-0,57	-0,28
Четвертичные отложения после загрязнения фильтратом	4,8	45	52	-4,4	-5,93
Средний карбон до загрязнения фильтратом	7,7	8	7	-2,2	1,07
Средний карбон после загрязнения фильтратом	6,3	20	156	-1,85	0,21

Несмотря на положительные значения S-кальцита и S-доломита в фильтрате, в песчаных отложениях четвертичного возраста (aIY) наблюдается значительная агрессивность

грунтовых вод при их загрязнении и изменении щелочно-кислотных условий. Загрязненные подземные воды обладают всеми видами агрессивности: общекислотной, углекислотной, сульфатной и др. Изменение рН и увеличению содержания CO_2 при расположении свалок на карбонатных породах могут привести к усилению процессов выщелачивания в подземных водах.

Механизм формирования загрязнения подземных вод в зоне влияния полигонов ТКО предложен в работе А.А. Волчек и А.В. Безручко. Он состоит из трех стадий. Первая стадия соответствует инфильтрации загрязненных вод через зону аэрации и характеризуется метаморфизацией фильтрата вследствие процессов комплексообразования, растворения, выщелачивания, обменно-адсорбционных процессов, сопровождающих движение загрязненных вод через зону аэрации. На второй стадии происходит смешение метаморфизованного фильтрата с подземными водами. Третья стадия соответствует переносу загрязняющих веществ по водоносному горизонту, которая начинается практически одновременно со второй. Важнейшими факторами миграции загрязнений являются естественная скорость потока подземных вод и активная пористость водовмещающих пород. Во время третьей стадии происходит формирование области загрязнения в водоносном горизонте и распространение загрязнения по площади. Естественное самоочищение подземных вод в пределах ореола загрязнения растягивается на многие годы [Волчек, 2022].

При организации и проведении мониторинга окружающей среды в зоне влияния объектов захоронения промышленных и бытовых отходов все большее внимание уделяется методам комплексной биоиндикторной оценки, позволяющим оценить общий уровень токсичности окружающей среды для живых организмов. В частности, на полигонах для размещения отходов широкое распространение получил метод аккумулятивной фитоиндикации [Куриленко и др., 2012]. Суть метода заключается в анализе показателей накопления поллютантов в органах растений. В качестве фитоиндикаторов на полигонах ТКО выбирают высшие однолетние травянистые растения, широко распространенные на территории зоны складирования отходов и за ее пределами: мать-и-мачеха (*Tussilago*), полынь (*Artemisia*), крапива (*Urtica dioica*), красавка (*Atropa belladonna*), лопух (*Arctium lappa*) и др. виды [Меженский, 2004; Куриленко и др., 2012; Чередова, 2022]. Растения индикаторы хорошо накапливают в надземной и подземной частях различные элементы, в частности, относящиеся к группе тяжелых металлов. Содержание ТМ в растениях, произрастающих в районе расположения полигонов ТКО, значительно превышает фоновые показатели (таблица 1.10). Наблюдаются положительные корреляции между повышенными содержаниями Fe, Zn, Cu, Pb, Cr, Ni в почвах/грунтах и уровнями соответствующих ТМ в органах, произрастающих на них растений, прежде всего в корнях. В большинстве случаев содержание тяжелых металлов в корнях растений снижается в ряду $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni}$, что отвечает общим закономер-

ностям количественного распределения содержания тяжелых металлов в почвах/грунтах. В качестве количественного критерия при фитоиндикации используют коэффициент биологического накопления (КБН), представляющий собой отношение содержания изучаемого элемента в биомассе растения, к его содержанию в почве [Куриленко и др., 2012].

Таблица 1.10 – Концентрации тяжелых металлов (ТМ) в растениях (мг/кг сухой массы) и грунтах (мг/кг), прилегающих к полигону коммунальных отходов Ленинградской области [по данным Куриленко и др., 2012]

Наименование ТМ	Мать-и-мачеха		Полынь		Крапива		Почва/грунт		
	корни листья	фон	корни листья	фон	корни листья	фон	пробы	фон	ПДКп
Железо	<u>514-1755</u> 8547-22794	9100	<u>410-4836</u> 6830-24007	8700	<u>652-1776</u> 704-32894	9300	19000-98000	65000	46500*
Марганец	<u>10-111</u> 84-621	270	<u>10-192</u> 42-834	170	<u>11-200</u> 88-750	250	462-1367	120	1500
Цинк	<u>14-250</u> 23-636	130	<u>18-170</u> 28-1203	120	<u>45-180</u> 49-919	130	60-1116	40	100
Медь	<u>10-302</u> 10-3361	65	<u>10-111</u> 10-8080	105	<u>21-83</u> 24-2583	140	44-1514	18	55
Свинец	<u>10-32</u> 10-437	30	<u>10-30</u> 10-498	25	<u>15-18</u> 16-277	40	11-2549	20	30
Хром	<u>30-34</u> 30-97	40	<u>30-58</u> 30-101	40	<u>30-34</u> 32-114	45	30-746	15	100
Никель	<u>11-18</u> 11-46	25	<u>10-22</u> 15-62	20	<u>15-25</u> 10-102	25	18-273	15	85

*Примечание: ПДК для Fe не установлено, в качестве сравнения использован кларк в земной коре

Однако, использование фитоиндикации при мониторинге состояния окружающей среды на полигонах захоронения отходов имеет ряд недостатков. Сложность интерпретации данных о содержании потенциально опасных элементов при фитоиндикации заключается в широком диапазоне варьирования концентраций ТМ в одних и тех же частях растений, что приводит к необходимости увеличения количества проб для получения статистически достоверной выборки. Физиологические особенности растений позволяют им использовать барьерные механизмы в отношении разных видов поллютантов [Ковалевский, 1991], поэтому анализ проб растений желательно проводить параллельно с химическим анализом почв/грунтов. В целом разные виды растений обладают разной избирательной активностью по отношению к потенциально опасным элементам, что вносит ряд затруднений при выборе подходящего растения-индикатора.

Еще к одному из распространенных методов комплексной биоиндикаторной оценки состояния окружающей среды на полигонах промышленных и бытовых отходов можно отнести метод биотестирования. Суть метода заключается в оценке степени выживаемости тест-объектов при их контакте с исследуемой средой. В качестве тест-объектов используют представителей основных трофических звеньев водной экосистемы: бактерии, водоросли, простейшие, ракообразные, рыбы. К преимуществам данного метода относится возможность установления достоверной

степени общей токсичности объекта исследований на фоне незначительной информации о природе токсического агента. Объектом исследования при этом может являться любой объект внешней среды на полигоне: почва/грунт, фильтрат, подземные воды и непосредственно сами отходы [ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06 Т 16.1:2.3:3.9-06].

Полигоны оказывают отрицательное влияние не только на атмосферный воздух, почву/грунты, подземные воды, растительность и микроорганизмы. Кроме того, результаты комплексного изучения воздействия полигонов для захоронения отходов на окружающую среду показали их негативное влияние на здоровье населения. Наиболее высокие уровни заболеваемости для контингента населения, проживающего в зоне влияния полигона, были отмечены со стороны органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, нервной и мочеполовой систем, а также новообразованиям [Дроздова, 2004].

Объекты захоронения отходов оказывают значительное воздействие на состояние окружающей среды в районе их расположения. На полигонах наблюдается миграция химических элементов в основные контактирующие среды (подземные воды, почву, растительность, атмосферный воздух) посредством образования фильтрата, биогаза, аэрозолей, что негативно сказывается на здоровье проживающего рядом населения.

Оценка современного состояния компонентов окружающей среды, примыкающих к территориям полигонов, должна проводиться с комплексным использованием геохимических, гидрогеохимических и биогеохимических методов, а также с помощью биоиндикации и биотестирования. В связи с этим объекты захоронения отходов представляют собой интерес как с научной точки зрения, так и с точки зрения создания и регулирования законодательной базы, регламентирующей деятельность по организации системы наблюдения (мониторинга) за состоянием окружающей среды на данных объектах.

1.3 Мониторинг окружающей среды на объектах захоронения отходов

Любой объект захоронения отходов является потенциальным источником опасности для окружающей среды. Все фазы эксплуатации полигона, начиная с его проектирования и по истечении длительного времени после его закрытия сопровождаются поступлением в окружающую среду различных поллютантов [Campbell et al., 2003; Гуман, 2009; Schiopu, Gavrilesu, 2010; Janas, Zawadzka, 2018]. Поэтому безопасность окружающей среды является приоритетом при проектировании, эксплуатации и закрытии любых объектов захоронения отходов [Yilmaz, et al., 2016]. Для обеспечения контроля качества окружающей среды такие объекты в обязательном порядке

порядке должны обеспечиваться системой мониторинга. Построение оптимальной системы мониторинга, способствующей постоянному контролю качества окружающей среды в зоне влияния полигонов и принятию своевременных решений для снижения риска загрязнения, является основной задачей как научного экологического сообщества, так и законодательных природоохранных органов, так как благоприятная окружающая среда в соответствии со ст. 42 Конституции РФ является конституционным правом каждого гражданина Российской Федерации [ст.42 Конституция, 1993].

Полигоны промышленных и коммунальных (бытовых) отходов являются объектами размещения. Основными нормативно-правовыми документами в сфере регулирования отношений, связанных со строительством, эксплуатацией и ликвидацией объектов размещения отходов в Российской Федерации являются Федеральный закон (ФЗ) от 10.01.2002 г № 7 «Об охране окружающей среды» [ФЗ от 10.01.2002 г № 7] и ФЗ от 24.06.1998 г № 89 «Об отходах производства и потребления» [ФЗ от 24.06.1998 г № 89]. На территориях субъектов Российской Федерации, как правило, действуют региональные нормативно-правовые документы, регулирующие деятельность в области захоронения отходов, требования которых могут дополнять, но не противоречить федеральному законодательству. Так, на территории Республики Бурятия действует Закон Республики Бурятия от 09.03.2010 г. № 1254-IV «Об отходах производства и потребления в Республике Бурятия» [Закон РБ от 09.03.2010 г № 1254-IV], в ст. 8 которого указано, что создание, эксплуатация и вывод из эксплуатации объектов размещения отходов в республике осуществляются в соответствии с федеральным законодательством.

Согласно ст. 12 ФЗ от 24.06.1998 г № 89 строительство объектов размещения отходов разрешается после проведения геологических, гидрологических, гидрометеорологических и других видов инженерных изысканий, оценки воздействия на окружающую среду, включающей в себя комплекс работ по изучению влияния строительства и эксплуатации проектируемого объекта на состояние атмосферного воздуха, подземных и поверхностных водных объектов, недр и почвенного покрова, уровня шума, радиации и пр. и получения положительного заключения государственной экологической экспертизы. При этом законодательно определены территории, на которых запрещено устраивать объекты по захоронению отходов, к таким территориям относятся населенные пункты, лесопарковые, курортные, лечебно-оздоровительные, рекреационные зоны, водоохранные зоны поверхностных водных объектов, водосборные площади подземных водных объектов, которые используются в целях питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, в ряде случаев места залегания полезных ископаемых и ведения горных работ. После сдачи полигона в эксплуатацию собственник объекта или эксплуатирующая организация обязаны поставить его на учет в государственном реестре объектов размещения отходов (ГРОРО). ГРОРО является

частью государственного кадастра отходов (ГКО) и представляет собой свод данных об эксплуатируемых и соответствующих экологическим требованиям объектах размещения отходов на территории Российской Федерации. ГРОРО содержит в себе сведения, характеризующие объект размещения отходов: наименование объекта и эксплуатирующей организации, виды и классы опасности размещаемых отходов, проектная вместимость (т, м³) и занимаемая площадь, наименование ближайшего населенного пункта и др. Каждому объекту в реестре присваивается уникальный код, содержащий в себе сведения о регионе расположения объекта, его назначении (хранение или захоронение отходов), а также даты и номера приказа о внесении объекта в ГРОРО [Приказ Минприроды России от 30.09.2011 г № 792]. ГКО в целом и ГРОРО в частности ведутся федеральной службой по надзору в сфере природопользования, данные реестров являются открытыми и размещены на официальном сайте Росприроднадзора [<https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/>]. С начала эксплуатации полигона собственник объекта размещения отходов или эксплуатирующая организация в обязательном порядке должны организовать мониторинг загрязнения окружающей среды. Порядок проведения мониторинга на объектах размещения отходов закреплен приказом Минприроды России от 08.12.2020 г № 1030 [приказ Минприроды России от 08.12.2020 г № 1030]. Мониторинг организуется на территориях объектов размещения отходов и в зоне их воздействия на окружающую среду, размер которой изначально устанавливается в проектной документации по результатам оценки воздействия на окружающую среду, а позже уточняется в процессе эксплуатации полигона. Для организации мониторинга собственник полигона или эксплуатирующая организация разрабатывают индивидуальную программу, требования к составу и содержанию которой установлены Порядком [приказ Минприроды России от 08.12.2020 г № 1030]. Отличительной особенностью указанных правил является отсутствие четких требований к перечню контролируемых показателей, количеству точек наблюдений, периодичности замеров. Минимальные требования установлены только для мест отбора проб: для атмосферного воздуха и почв – на границе территории, соответствующей пределам негативного воздействия; для поверхностных водных объектов – в месте выпуска сточных вод, поступающих с объекта размещения отходов в водный объект; для подземных водных объектов – в местах отбора проб, обоснованных в проектной документации объекта размещения отходов. Решение о необходимости проведения мониторинга почв, растительного и животного мира на территории и в зоне влияния объекта размещения отходов устанавливается собственником самостоятельно. Такой «гибкий» подход с одной стороны облегчает функционирование объектов размещения отходов и позволяет собственнику объекта или эксплуатирующей организации сформировать собственную индивидуальную программу мониторинга. С другой стороны, он имеет ряд недостатков. Во-первых, для таких объектов уже на этапе экологической экспертизы должны быть предъявлены повышенные требования к разработке программы производственного

контроля, где эксперты в силу их профессиональных компетенций могут предложить природопользователю оптимальное количество точек измерений, периодичности замеров и перечня определяемых показателей, при этом, если эксперт не будет располагать соответствующими компетенциями или проявит лояльность, то повысится риск появления неохваченных мониторингом параметров окружающей среды. Во-вторых, в правилах не определены сроки проведения мониторинга после закрытия объекта: п. 3 Правил установлено, что прекращение мониторинга на территориях выведенных из эксплуатации объектов размещения отходов допускается по истечении срока, предусмотренного проектной документацией на вывод объекта размещения отходов из эксплуатации, при условии, если по результатам данного мониторинга подтверждено отсутствие негативного воздействия на окружающую среду, что накладывает повышенные требования к разработке проектной документации и проведению экологической экспертизы. В-третьих, и природопользователям, и контролирующим органам, при организации экологического контроля необходимо располагать рабочим документом с четкими правилами по организации мониторинга на объектах захоронения отходов, с указанием перечня контролируемых показателей, периодичности замеров и продолжительности мониторинга после окончания сроков эксплуатации объекта.

Результаты мониторинга ежегодно представляются природопользователями в территориальные органы Росприроднадзора. Далее они должны направляться в единую государственную систему мониторинга, созданную в Российской Федерации с выходом ФЗ № 7 от 10.01.2002 г. Единая система государственного экологического мониторинга включает в себя государственный мониторинг атмосферного воздуха, радиационной обстановки, земель, водных объектов, животного мира и другие подсистемы мониторинга. Формирование этой системы должно осуществляться за счет сил государственного мониторинга и экологического мониторинга на каждом производственном объекте. Государственный мониторинг ведется федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды: федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), федеральным агентством по недропользованию (Роснедра), федеральным агентством водных ресурсов (Росводресурсы), федеральной службой по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) и другими ведомствами в зависимости от сферы их деятельности [Постановление Правительства РФ от 9 августа 2013 г № 681]. Помимо государственных органов исполнительной власти каждый субъект хозяйственной деятельности, эксплуатирующий объекты негативного воздействия, предоставляет сведения о проведении мониторинга в территориальные органы Росприроднадзора. Все данные вместе объединяются в государственный фонд данных государственного экологического мониторинга, информация которого является общедоступной и размещенной на официальном сайте Минприроды России [https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/gosudarstvennyy_ekologicheskij_monitoring/].

Информация о состоянии окружающей среды в Российской Федерации доступна на сайте Минприроды России в виде ежегодников о состоянии окружающей среды, данные ежегодники разрабатываются по компонентам (атмосферный воздух, поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и т.д.). Работа по составлению ежегодников проводится Росгидрометом в сотрудничестве с научно-исследовательскими институтами (НИУ): Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации (г. Москва); Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (г. Санкт-Петербург); Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (г. Обнинск) и др. Отличительной чертой НИУ Росгидромета является их ориентация на изучение метеорологических особенностей атмосферы, агрометеорологии, околоземного космического пространства, опасных природных метеорологических явлений, поверхностных вод суши и прочих вопросов метеорологии, океанографии, климатологии. При этом остаются слабо охваченными вопросы мониторинга почв, которые несут основную антропогенную нагрузку при организации полигонов промышленных и бытовых отходов. Так, согласно Ежегодному обзору о состоянии загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2021 г [Черногаева, 2022] оценка качества почв проводилась:

- по содержанию токсикантов промышленного назначения – всего для 43 населенных пунктов Российской Федерации. Приоритетом при выборе пунктов наблюдений являлось наличие крупных предприятий цветной и черной металлургии;
- по загрязнению остаточными количествами пестицидов – для 39 субъектов Российской Федерации, располагающих на своей территории складами или местами захоронения непригодных или запрещенных к применению пестицидов.

Результаты мониторинга почв в районах размещения действующих и закрытых объектов захоронения отходов не представлены.

Закрытые объекты размещения отходов относятся к объектам накопленного вреда окружающей среде [Постановление Правительства Российской Федерации от 13.04.2017 г № 445]. Реестр таких объектов ведется Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации (МПР РФ) на основе оценки объектов накопленного вреда окружающей среде, которая включает в себя установление объема, массы и классов опасности захороненных отходов, площади объекта, категории и видов разрешенного использования земель, количества населения, проживающего на территории, уровня и объема негативного воздействия на окружающую среду и др. показатели. Негативное воздействие на окружающую среду рассматривается с точки зрения способности загрязняющих веществ к миграции в иные компоненты природной среды, возможности загрязнения водных объектов (в том числе являющихся источниками питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения), вероятности возникновения экологических рисков. Данные

реестра используются МПР РФ для выявления приоритетных объектов и установления последовательности при проведении работ по ликвидации накопленного вреда.

Для оказания государственной поддержки при реализации мероприятий по ликвидации накопленного вреда окружающей среде, на основании Указа Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204] разработана и утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 326 [Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 326] государственная программа Российской Федерации «Охрана окружающей среды». Данной программой предусматривается ликвидация несанкционированных свалок и ликвидация наиболее опасных объектов накопленного вреда. К настоящему времени в России уже проводятся работы по ликвидации вреда окружающей среде на полигоне токсичных промышленных отходов в г. Санкт-Петербург (Тосненский район), по устранению загрязнения на территории г. Усолье-Сибирское (Иркутская область), по предупреждению загрязнения озера Байкал отходами, образованными в результате деятельности ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» (Иркутская область) [<https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/>] и ликвидации несанкционированных свалок в центральной экологической зоне Байкальской природной территории [<https://www.mnr.gov.ru/press/news/>].

В реестр объектов накопленного вреда по состоянию на начало 2020 г. включено 207 объектов, из них 63% (130 объектов) – свалки и полигоны твердых коммунальных отходов, 37% (77 объектов) – свалки промышленных отходов, участки захоронения пестицидов, золоотвалы, хвостохранилища, шламонакопители, загрязненные акватории и прочие промышленные объекты (рисунок 1.2).

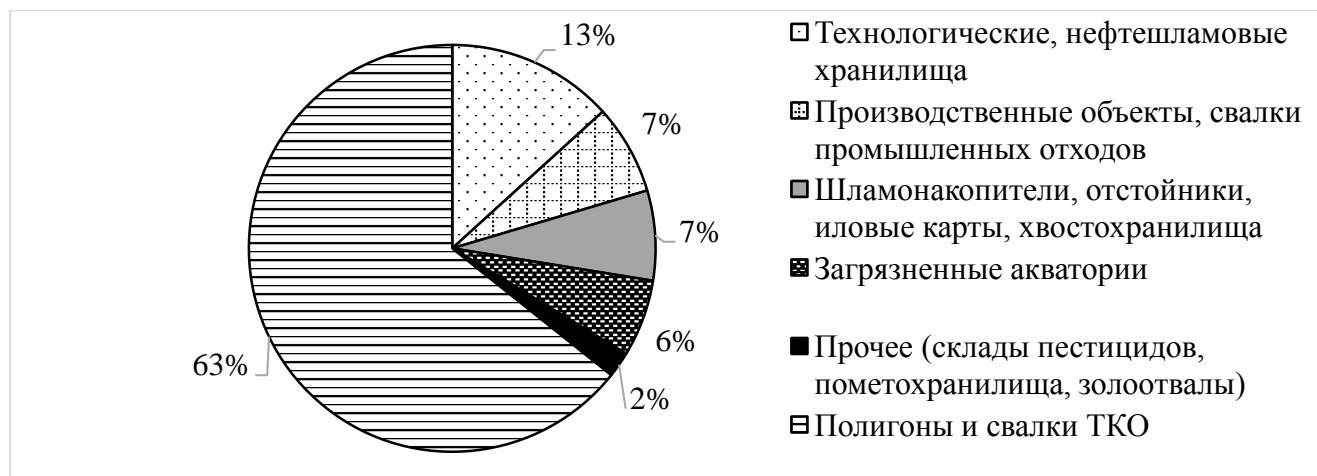


Рисунок 1.2 – Типы объектов накопленного вреда окружающей среде в Российской Федерации (по состоянию на 2020 г)

Перечень включенных в реестр объектов охватывает только 52 из 85 субъектов Российской Федерации (по состоянию на 2020 г), что свидетельствует о необходимости проведения Минприроды России работы по обновлению данного перечня с целью своевременного выявления потенциально опасных объектов накопленного вреда и проведения мероприятий по их ликвидации.

Недостатком существующей системы мониторинга в Российской Федерации является разобщенность результатов, получаемых в процессе мониторинга, как от органов исполнительной власти, так и от научных учреждений. Как правило, каждый орган исполнительной власти для ведения мониторинга располагает лабораторным центром, из которого получает и самостоятельно интерпретирует сведения о результатах мониторинга. Кроме того, для действующей системы мониторинга чаще всего отсутствуют методические подходы к комплексной санитарно-гигиенической оценке. Например, недостаточно полно разработана методология оценки воздействия полигонов захоронения ТКО на объекты окружающей среды и внедрения комплекса мероприятий по обеспечению санитарно-гигиенической безопасности полигонов ТКО и прилегающих территорий [Зомарев, 2010]. Окружающая среда представляет собой взаимосвязанную систему, состоящую из множества компонентов и соответственно, анализ данных для поиска корреляционных зависимостей изменения какого-либо параметра окружающей среды и влияния этого изменения на другие компоненты следует проводить в комплексе. Такую систему мониторинга возможно создать только при тесном взаимодействии органов исполнительной власти с научными учреждениями и постоянном представлении информации о результатах замеров научным институтам, которые в свою очередь могли бы комплексно провести анализ данных и разработать модели развития состояния окружающей среды в каждом регионе.

Проблема захоронения отходов актуальна не только в России, но и за рубежом. Основные принципы обращения с отходами в странах Европейского союза сводятся к разработке системы управления, направленной на минимизацию воздействия отходов на состояние окружающей среды, что отражено в рамочной директиве по отходам 2008/98/ЕС [Directive 2008/98/EC, 2008]. При этом каждая страна вправе разработать собственные законодательные акты в области обращения с отходами, не противоречащие основным положениям директивы. В частности, согласно польскому законодательству, мониторинг на полигонах захоронения отходов осуществляется на этапе подготовки к эксплуатации объекта, во время и после эксплуатации на протяжении 30 лет с даты закрытия полигона. Кроме того, установлены четкие требования к перечню контролируемых показателей, методам измерений и периодичности замеров на полигонах (таблица 1.11).

Таблица 1.11 – Некоторые контролируемые показатели и периодичность мониторинга на полигонах Польши [по данным Janas, Zawadzka, 2018].

№ п/п	Наименование показателя	Периодичность измерений		
		Этап подготовки	Этап эксплуатации	Этап закрытия и рекультивации
1	Расход поверхностных вод	1 раз	1 раз в 3 мес.	1 раз в 6 мес.
2	Состав поверхностных вод	1 раз	1 раз в 3 мес.	1 раз в 6 мес.
3	Объем фильтрата	-	1 раз в мес.	1 раз в 6 мес.
4	Состав фильтрата	-	1 раз в 3 мес.	1 раз в 6 мес.
5	Уровень грунтовых вод	1 раз	1 раз в 3 мес.	1 раз в 6 мес.
6	Состав грунтовых вод	1 раз	1 раз в 3 мес.	1 раз в 6 мес.
7	Выбросы свалочного газа	-	1 раз в мес.	1 раз в 6 мес.
8	Состав свалочного газа	-	1 раз в мес.	1 раз в 6 мес.
9	Эффективность использования систем отвода свалочного газа	-	-	1 раз в год
10	Просадка грунта	-	1 раз в год	1 раз в год
11	Присутствие паров ртути	-	Непрерывное измерение	Непрерывное измерение
12	Структура и состав размещаемых отходов	-	1 раз в год	-

В Ирландии [Campbell et al., 2003] разработано руководство по организации мониторинга окружающей среды на полигонах отходов, направленное на максимальное внедрение наилучших доступных технологий организациями, эксплуатирующими полигоны. Согласно данному руководству требования по организации мониторинга на объектах захоронения отходов зависят от типа таких объектов: полигоны, принимающие инертные отходы; полигоны, принимающие неопасные отходы; полигоны, принимающие опасные отходы. В целом на полигонах рекомендуется проводить мониторинг поверхностных и подземных вод (химические, бактериологические показатели), фильтрата, свалочного газа и продуктов его сгорания, запахов, уровня шума, пыли и ряд других параметров. Рекомендуемая периодичность мониторинга составляет 1 раз в 3 месяца для поверхностных и подземных вод, 1 раз в 6 месяцев – для свалочного газа и индивидуальная периодичность – для остальных показателей.

В США для контроля над деятельностью полигонов промышленных и бытовых отходов действует Кодекс федеральных правил [Official Website of the US EPA], в котором обозначены Критерии для оценки деятельности полигонов ТКО (часть 258 Кодекса). На полигонах промышленных и бытовых отходов в обязательном порядке контролируются подземные воды на предмет загрязнения не только в течение их активного срока службы, но и после закрытия. Исключениями из этого требования являются небольшие полигоны с производительностью менее 20 т/сут и объекты, на которых доказано отсутствие миграции токсичных компонентов из тела свалки в грунтовые воды. Для мониторинга подземных вод собственники или операторы объектов размещения отходов должны установить сеть наблюдательных скважин, расположенных под уклоном по ходу движения подземных вод. Требуемое количество скважин, плотность сети наблюдений и их глубина определяются индивидуально для каждого полигона в зависимости от глубины водонос-

ного горизонта, скорости потока грунтовых вод и других геологических и гидрологических характеристик участка. На первом этапе мониторинга определению подлежат 62 компонента: Sn, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Se, Ag, Tl, V, Zn и ряд органических веществ: ацетон, бензол, хлорбензол, хлороформ, стирол, ксилолы, галогенсодержащие соединения и др. Периодичность отбора проб должна составлять не менее 1 раза в 6 месяцев. Если на первом этапе мониторинга будут выявлены концентрации контролируемых элементов и веществ выше допустимых норм, то законодательством предусмотрена расширенная программа мониторинга (assessment monitoring program), включающая в себя определение 210 компонентов. После закрытия полигона собственник или эксплуатирующая организация обязаны около 30 лет следить за его просадкой, за состоянием рекультивационных слоев на теле полигона и проводить мониторинг грунтовых вод, атмосферного воздуха. Указанная продолжительность может быть сокращена или увеличена по решению руководства Штата.

Задачами, направленными на построение оптимальной системы мониторинга, занимаются не только на законодательном уровне. Научное сообщество также активно изучает вопросы мониторинга окружающей среды на полигонах. При этом одни ученые занимаются поиском недостатков в экологическом законодательстве и разработкой предложений по совершенствованию методической базы проведения мониторинга [Зомарев, 2010; Janas, Zawadzka, 2018]; другие – совершенствованием приборной базы для мониторинга окружающей среды на объектах захоронения отходов, так как отбор проб почвы и грунтовых вод с помощью исследований скважин являются дорогостоящими и дискретными однократными данными, которые трудно пространственно интерпретировать [Rose, 2007; Lega, Napoli, 2008; Huang et al., 2019; Ma et al., 2019; Hu et al., 2022].

Все более широкое распространение получают портативные приборы, способные проводить постоянный мониторинг в режиме реального времени [Hu et al., 2022]. Для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, прежде всего в процессе поиска очагов возгорания на полигонах, итальянскими авторами [Lega, Napoli, 2008] предлагается интегрированная система датчиков, переносимых беспилотными летательными аппаратами. Такие датчики позволяют обнаруживать тепловые выбросы, химические (CO , NO_x , O_3 , CH_4) и физические (температура, относительная влажность) параметры атмосферного воздуха. Преимуществом данного метода является значительный охват точек на разных высотах, что позволяет увеличить зону наблюдения с полным геометрическим разрешением. Интересным является эксперимент китайских ученых [Hu et al., 2022] по мониторингу миграции фильтрата, образующегося в теле свалки, с помощью метода параллельной потенциометрии. Суть метода заключается в размещении сети детекторных электродов на дне полигона при его строительстве и сравнения электрического поля на свалке и

на фоновом участке. В случае утечки фильтрата через ложе полигона на приборах будет зарегистрирована повышенная разность потенциалов. Большое внимание за рубежом уделяется прогнозированию опасных геологических явлений на полигонах промышленных и бытовых отходов. К таким явлениям на объектах размещения отходов относятся прежде всего оползни, образующиеся при недостаточном уплотнении слоев отходов на полигоне. Раннее обнаружение перемещения свалочных масс возможно с помощью геодезических методов. Периодичность проведения геодезических измерений на полигонах стран европейского союза составляет в среднем 1 раз в квартал при эксплуатации полигона и далее не менее 1 раза в год после закрытия полигона. При этом многими учеными активно апробируются новые методы дистанционного зондирования, позволяющие охватить всю территорию полигона и получать результат о движении масс в режиме реального времени: глобальная навигационная спутниковая система (GNSS), тахеометрическая съемка [Rose, 2007], наземный интерферометрический радар с синтезированной апертурой (GB-InSAR), тепловые инфракрасные снимки [Ma et al., 2019], наземное лазерное сканирование (TLS) [Huang et al., 2019] и методы с использованием беспилотных летательных аппаратов [Štroner et al., 2021; Baiocchi et al., 2019; Mello et al., 2022; Incekara et al., 2019; Pasternak et al., 2023].

Для понимания тех процессов, которые проходят в теле полигонов, проведение экологического мониторинга на природно-техногенных системах должно быть долгосрочным, что подтверждается работами многих ученых. Например, в работе авторов [Janas, Zawadzka, 2018] проводился мониторинг грунтовых вод в зоне действия полигона промышленных отходов на протяжении 20 лет (1995-2016 гг.). Изучаемый полигон промышленных отходов был построен в 1995 г для нужд бывших промышленных предприятий, рядом с тремя отстойниками, существующими уже с 1960 г, в которых собирались технологические отходы в виде золы и гипса, в 2008 г полигон был закрыт. Проведенные исследования показали, что после окончания эксплуатации полигона произошло значительное загрязнение подземных вод по сравнению с ситуацией в 1995-2008 гг., что объясняется затяжными процессами вымывания загрязняющих веществ из толщи отходов. Одной из основных сложностей организации мониторинга на свалках, как отмечают многие авторы являются высокие материальные и временные затраты, направленные на выбор площадок, отбор проб, проведение анализов и т.д. Поэтому все более перспективными становятся дистанционные методы мониторинга окружающей среды [Papale et al., 2023].

Для совершенствования системы комплексного мониторинга окружающей среды в Российской Федерации при интерпретации данных перспективно тесное сотрудничество между гос-

ударственными органами исполнительной власти, лабораторными центрами и научными учреждениями. Мониторинг на объектах размещения отходов должен быть долгосрочным, что следует закрепить в нормативно-методических документах по эксплуатации полигонов. Еще одним дополнением методической базы по организации мониторинга на объектах размещения отходов, должен являться четкий и расширенный перечень контролируемых показателей на полигонах, который позволит как природопользователям, так и контролирующим органам использовать единые подходы при оценке воздействия на окружающую среду на этапах проектирования, строительства и эксплуатации полигонов.

2. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Интенсивность протекания физико-химических процессов на объектах захоронения отходов и степень их воздействия на компоненты окружающей среды тесно связаны с природно-климатическими, ландшафтными, геологическими и гидрологическими особенностями местности.

Так, количество образующегося фильтрата на полигонах напрямую зависит от коэффициента увлажнения, представляющего собой отношение количества осадков к величине их испаряемости. Скорость и основные направления ветра влияют на зону распространения выбросов загрязняющих веществ от объектов захоронения отходов. Ландшафтные особенности местности тесно связаны с загрязнением почв вокруг полигонов. Интенсивность загрязнения подземных вод зависит от типа горных пород, слагающих основание полигона, коэффициентов фильтрации залегающих грунтов, уровня и направления потока грунтовых вод. В связи с этим оценка геологических, гидрологических и климатических условий местности размещения хранилищ отходов является неотъемлемым этапом изучения степени влияния объектов захоронения отходов на окружающую среду.

2.1 Геоэкологическая характеристика г. Улан-Удэ и прилегающих территорий

Рельеф

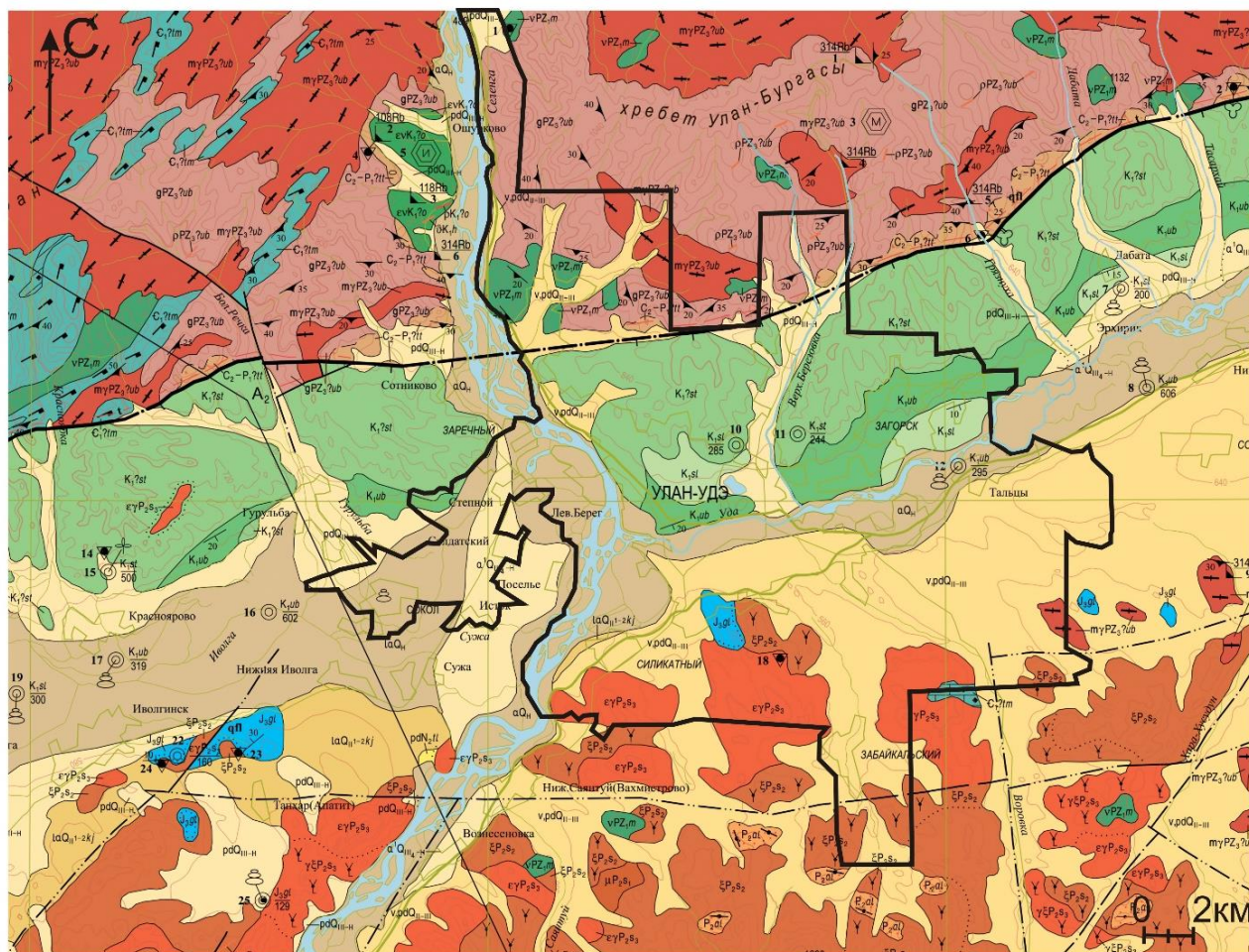
Улан-Удэ является столицей Республики Бурятия, расположен в Западном Забайкалье на месте впадения р. Уда в р. Селенга, в 100 км к юго-востоку от оз. Байкал, в границах буферной экологической зоны Байкальской природной территории. Город находится на сочленении Иволгинской и Нижнеудинской межгорных впадин, ограниченных отрогами хребтов Хамар-Дабан, Улан-Бургасы, Цаган-Дабан и Ганзуринский [Коломиец и др., 2015]. Вершины Хамар-Дабана достигают на рассматриваемом участке высоты 1400 м и находятся выше ложа долины р. Селенга на 500-700 м. Абсолютные отметки Ганзуринского хребта отмечаются от 950 до 1070 м; относительное превышение над р. Селенга составляет 500 м. Хребет Улан-Бургасы является продолжением хребта Хамар-Дабан и к востоку от р. Селенга характеризуется значительной расчлененностью. Многочисленные пади и распадки, мелкие горные речки разбили хребет на относительно невысокие, продолговатые холмы, имеющие характер мелкосопочного рельефа. Вершины гор обычно плоские, куполообразные, высотой 800-1000 м. Северный склон хребта Цаган-Дабан представляет собой несколько сглаженных отрогов, расчлененных короткими, асимметричными падами. Абсолютные высоты хребта достигают уровня 813 м; превышение над долиной р. Уда составляет до 310 м. Высотные отметки на территории города изменяются в пределах 500-950 м.

Уклоны поверхности на правобережье р. Уда и р. Селенга, где располагается центральная часть города, достигают 1,7 м, на левом берегу р. Уда – 6,4 м на 1 км длины русла реки. В пределах Улан-Удэнской агломерации значительную роль в преобразовании рельефа играют поверхностные воды, действие которых выражается процессами аккумуляции наносов, а также плоскостного смыва, оврагообразующей и речной эрозии, включая частые проявления малых селевых потоков. Наиболее сильное оврагообразование характерно для южных предгорий хребта Улан-Бургасы, что связано со значительными уклонами поверхности склонов долины, наличия супесчано-глинистых пород, ливневый характер атмосферных осадков. Как следствие, правобережная часть р. Уда характеризуется большим количеством оврагов глубиной от 1-2 м до 6-7 м с крутыми, отвесными и порой неустойчивыми стенками. Левобережные уклоны более значительные, но овраги здесь встречаются редко, что объясняется широким распространением на данной территории песков, обладающих высокой пористостью, что благоприятствует трансформации поверхностного стока в подземный [Сницаренко, 1983].

Геологическое строение

На территории района исследования развиты преимущественно интрузивные, вулканогенные, осадочные и метаморфические образования палеозоя и мезозоя. Первые сведения о геологическом строении рассматриваемой территории получены при маршрутных исследованиях В.А. Обручева в процессе проведения им в 1895-1898 гг. геологических изысканий для строительства Транссибирской железной дороги. В дальнейшем геологическая съёмка изучаемой территории в масштабах 1:200 000 и 1:50 000 проводилась в разное время геологами [Ветров, 1960; Карбаинов, 1981, ф; Михайлов, 1971, ф; Мурзин, 1986 и др.] с применением значительного объёма буровых, горных, геофизических, геохимических и других исследований.

В долинах правых берегов рек Уда и Селенга (рисунок 2.1) выделяются породы гусино-озёрской серии, представленные убукунской (*K_{1ub}*), селенгинской (*K_{1st}*), сотниковской (*K_{1?st}*) свитами [Геологическая карта, 2001].



aQ_{II}	1	K_{1st}	5	$\epsilon Y P_2 S_3$	9	$C_2 - P_1 tt$	13
$a'Q_{III_4 - H}$	2	K_{1ub}	6	$\xi P_2 S_2$	10	vPZ_m	14
v, pdQ_{II-III}	3	K_{1st}	7	$gPZ_3?ub$	11		15
laQ_{II-2kj}	4	$J_3 gl$	8	$myPZ_3?ub$	12		16

1 – нерасчленённый. Аллювиальные галечники, пески, супеси (40 м); озёрно-аллювиальные (*la*) галечники, пески, суглинки и супеси (до 25 м); 2 – верхнее звено неоплейстоцена-голоцен. Аллювий первой надпойменной террасы: галечники, пески (до 40 м); пролювиально-делювиальные (*pd*) суглинки, пески, супеси с галькой, щебнем и глыбами (25-40 м); 3 – среднее-верхнее звенья. Эоловые и пролювиально-делювиальные супеси, пески, лёссовидные суглинки (до 130 м); 4 – первая и вторая части среднего звена. Кривоярская свита. Озёрно-аллювиальные пески горизонтально-слоистые (до 110 м); 5 – селенгинская свита. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, пласты бурых углей (450-700 м); 6 – убукунская свита. Алевролиты, песчаники, аргиллиты и конгломераты (550-600 м); 7 – сотниковская свита. Глыбовые брекчи, валунные конгломераты с прослоями хлидолитов, песчаников, алевролитов (1000-1050 м); 8 – галтайская свита. Конгломераты, песчаники, трахиандезитбазальты, прослои алевролитов (более 150 м); 9 – соготинский комплекс монзонит-сиенит-лейкогранитовый. Третья фаза: умереннощелочные граниты и лейкограниты; 10 – соготинский комплекс монзонит-сиенит-лейкогранитовый. Вторая фаза: сиениты. 11 – улан-бургасский комплекс метаморфический, подкомплекс сланцево-гнейсовый; 12 – улан-бургасский комплекс метаморфический, подкомплекс метатектитовый; 13 – татауровская свита. Метаконгломераты, динамомтаморфизованные песчаники, алевролиты, трахириолиты и их туфы (более 800 м); 14 – монстойский комплекс габбровый. Габбро, оливковые габбро и анортозиты; 15, 16 – разрывные нарушения.

Рисунок 2.1 – Геологическая карта г. Улан-Удэ и прилегающих территорий (фрагмент М-48-VI)

Убукунская свита представлена алевролитами, песчаниками, аргиллитами и конгломератами. Возраст отложений этой свиты обоснован многочисленными находками ископаемой фауны [Скобло, 1967, ф; Скобло, 1971, ф], соответствующей нижнемеловому (кижингинскому) биостратиграфическому горизонту. Отложения селенгинской свиты по литологическому составу мало отличаются от пород убукунской свиты. Главными отличительными особенностями селенгинской свиты являются ее более высокая угленосность и смена комплекса ископаемой фауны. Отложения селенгинской свиты в пределах территории расположения г. Улан-Удэ выполняют Лысогорскую (п. Аршан, п. Лысая гора) и Госзаводскую (п. Восточный) угленосные мульды. Сотниковская свита представлена грубообломочными отложениями – глыбовыми брекчиями, валунными конгломератами с прослоями несортированных песчаников.

Вдоль руч. Верхняя Березовка, являющегося водотоком I порядка р. Уда, в районе пп. Кирзавод, Кумыска, Верхняя Березовка и в западной части г. Улан-Удэ (в районе расположения городских очистных сооружений и п. Стеклозавод), закартированы четвертичные образования неоплейстоцена. Данные образования в районе руч. Верхняя Березовка представлены пролювиально-делювиальными, аллювиально-пролювиальными и аллювиальными отложениями первой надпойменной террасы (pdQ_{III-H}); в составе отложений – суглинков, песок, супесь со щебнем, древесной и глыбами. В районе городских очистных сооружений четвертичные образования представлены эоловыми и пролювиально-делювиальными супесями, песками, лёссовидными суглинками (v, pdQ_{II-III}). Такие же отложения выделены в южной и западной частях территории г. Улан-Удэ, в долинах левых берегов р. Уда и р. Селенга.

Основные водные артерии г. Улан-Удэ – р. Уда и р. Селенга обрамлены отложениями голоцена (aQ_H), представленными аллювиальными отложениями высокой (3,5 м) и низкой (2 м) пойм этих рек и нерасчленёнными поймами мелких рек, а также озёрно-аллювиальными и озёрными образованиями голоценового периода.

В южной части города, в районе п. Комушка, закартированы отложения галтайской свиты (J_3gl) позднего юрского периода, представленные конгломератами, песчаниками, трахиандезитобазальтами, прослоями алевролитов. Здесь же закартирован позднепермский соготинский интрузивный комплекс (монзонит-сиенит-лейкогранитовый), представленный сиенитами, кварцевыми сиенитами и граносиенитами щёлочнополевошпатовыми и двуполевошпатовыми (ξP_{2S_2}) и умеренно-щелочными двуполевошпатовыми и щёлочнополевошпатовыми гранитами и лейкогранитами ($\epsilon \gamma P_{2S_3}$).

Геоморфология

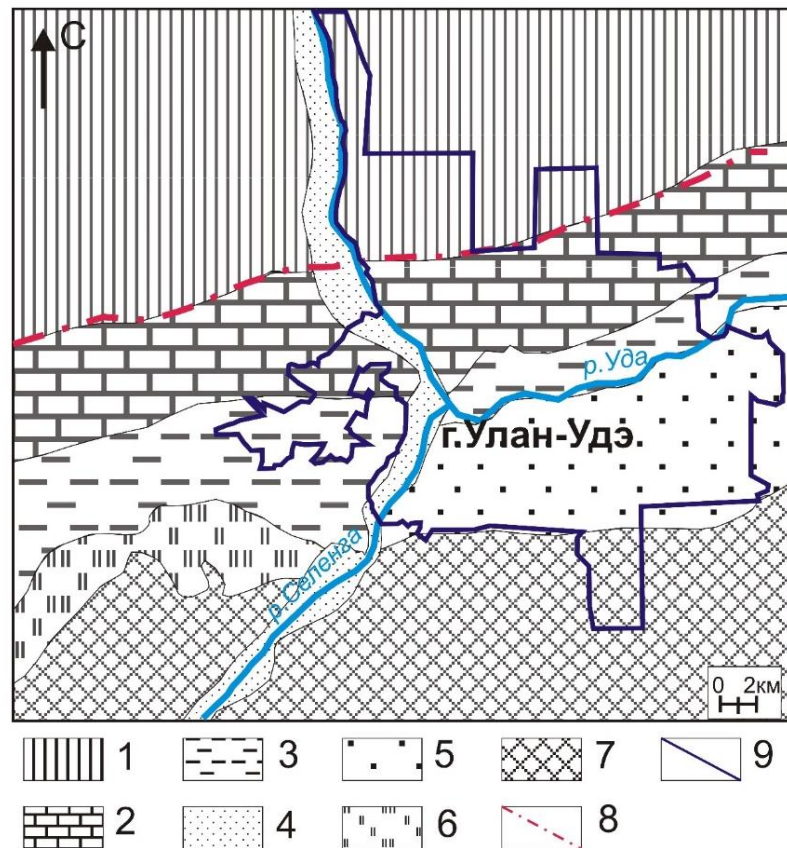
В геоморфологическом отношении Иволгино-Удинская впадина имеет ширину 10-15 км. Днище впадины равнинное, расчленённое террасированными долинами р. Селенга и её притоков

разных порядков (р. Уда, р. Иволга и др.). В черте г. Улан-Удэ хорошо выражены три террасовых уровня. Первая надпойменная терраса высотой 3-5 м прослеживается в долине р. Уда по обоим берегам: по левобережью – сплошной полосой шириной 0,5-0,7 км и длиной до 11 км, по правобережью – прерывистой лентой шириной 0,2-0,4 км (на приустьевом участке до 0,5-0,6 км) и длиной около 10 км. В долине р. Селенга первая надпойменная терраса встречается отдельными фрагментами. Вторая надпойменная терраса возвышается над поймами р. Уда и р. Селенга на 9-12 м и проявляется в долинах обеих рек: в долине р. Уда на левом берегу участком шириной 1 км и длиной 6 км, на правом – длиной 10 км при ширине 0,3-0,7 км и сливанием с аналогичной террасой р. Селенга. Аллювиальные отложения этой террасы представлены песчано-галечным, местами валуно-галечным, реже гравийно-песчаным и песчаным материалом. Третья надпойменная терраса состоит, главным образом, из песков и имеет высоту 18-22 м, прослеживается на левом берегу р. Уда полосой шириной от 0,5 до 1,5 км и длиной 10 км. Её поверхность почти сливается с поверхностью второй террасы [Сницаренко, Швер, 1983].

Гидрогеология

По гидрогеологическому районированию изучаемая территория входит в состав Иволгино-Удинского артезианского бассейна Иволгино-Удинской межгорной впадины [Геологическая карта, 2001].

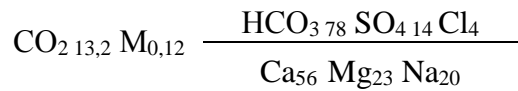
В гидрогеологическом отношении артезианский бассейн изучен до глубин 150-200 м. Водоносные комплексы различных геологических образований гидравлически взаимосвязаны и образуют единую гидродинамическую зону с общей поверхностью уровней и направлением движения подземных вод. В рыхлых образованиях движение подземных вод носит характер грунтовых потоков со свободной поверхностью. Эти потоки направлены от периферии к центральной части артезианского бассейна, занятой долинами рек. На территории г. Улан-Удэ рядом исследователей [Замана, 1962, 1979, ф; Литвиненко, 1974, 1984, ф] были выделены в основном порово-пластовые воды рыхлых кайнозойских отложений и пластово-трещинные воды мезозойских впадин (рисунок 2.2).



1 – трещинные воды метаморфических пород; 2 – пластово-трещинные воды мезозойских впадин, выполненных отложениями сотниковской свиты; 3 – пластово-трещинные воды мезозойских впадин, выполненных отложениями селенгинской, убукунской и галтайской свит; 4 – порово-пластовые воды поздненеоплейстоценовых-голоценовых аллювиальных отложений; 5 – порово-пластовые воды неоплейстоценовых эоловых и делювиально-пролювиальных отложений; 6 – порово-пластовые воды отложений эоплейстоцена, кривоярской и толгойской свит; 7 – трещинные воды магматических пород; 8 – водоносные разломы; 9 – граница г. Улан-Удэ

Рисунок 2.2 – Фрагмент гидрогеологической карты г. Улан-Удэ и прилегающих территорий [по данным Геологическая карта: М-48-VI (Улан-Удэ), 2001]

Порово-пластовые воды. Водоносный горизонт поздненеоплейстоценовых-голоценовых аллювиальных отложений приурочен к сходным по составу аллювиальным отложениям, развитым в пределах пойм и надпойменных террас. Среди них преобладают гравийно-галечниковые образования и пески, изредка встречаются маломощные (до 1 м) прослои глин и суглинков. Мощность водоносного горизонта в пойме р. Селенга достигает 90 м. Уровни воды залегают на глубине не более 3-4 м в поймах рек и до 10 м в пределах надпойменных террас. Воды безнапорные, образуют потоки со свободной поверхностью. Аллювиальные отложения отличаются от других водоносных горизонтов наиболее высокой водообильностью. Дебит скважин колеблется от 1-2 до 25-30 л/сек при понижениях 2-5 м. По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,2-0,5 г/л. По степени жёсткости воды мягкие и умеренно-жёсткие. Агрессивная углекислота содержится в количествах от 0 до 20 мг/л. Химический состав вод приведен ниже в виде формулы М.Г. Курлова:



Питание водоносного горизонта осуществляется атмосферными осадками и подземными водами других водоносных комплексов, разгрузка которых происходит в речные долины.

Водоносный комплекс неоплейстоценовых эоловых и делювиально-пролювиальных отложений. Отложения этого типа развиты, в основном, на левобережье р. Уда. Наиболее распространёнными водовмещающими породами являются пески, реже супеси и суглинки. Подземные воды всех генетических разновидностей пород образуют единый водоносный комплекс в виде грунтового потока с общей уровенной поверхностью. Максимальная глубина залегания водоносного комплекса в юго-восточном борту Удинской впадины составляет 60-70 м. Мощность водоносного комплекса колеблется в пределах 20-30 м. Дебит скважин составляет 0,3-0,6 л/сек при понижениях от 2 до 13 м. В редких случаях производительность скважин достигает 4-5 л/сек при понижениях 5-6 м. Химический состав грунтовых вод преимущественно гидрокарбонатный кальциевый при общей минерализации от 0,1 до 0,5 г/л. Питание водоносного комплекса осуществляется водами горных массивов и инфильтрацией атмосферных осадков. Как по общей минерализации, так и по содержанию отдельных компонентов воды средне-верхнечетвертичных отложений вполне пригодны для бытовых и технических целей. Использование водоносного комплекса для водоснабжения осуществляется посредством отдельных скважин, обеспечивающих объекты с небольшим водопотреблением.

Водоносный комплекс отложений эоплейстоцена, кривоярской и тологойской свит. Отложения этого комплекса распространены в пределах Тапхарской впадины. Представлены галечниками и песками эоплейстоцена, песками кривоярской, красноцветными глинами и суглинками тологойской свит. Глубина залегания грунтовых вод варьирует в пределах 15-55 м. Дебит скважин составляет 0,4-2,2 л/сек при понижении от 1,5 до 12 м. Воды комплекса характеризуются повышенными значениями минерализации – 0,7-0,9 г/л, содержаниями сульфат-ионов, ионов натрия и магния. Помимо этого, отмечается значительная жёсткость подземных вод, достигающая 11,2 мг×экв/л. Питание водоносного горизонта осуществляется трещинными водами кристаллических пород горного обрамления и инфильтрацией атмосферных осадков. Качество вод чаще всего не удовлетворяет требованиям, предъявляемых к питьевому водоснабжению [Геологическая карта: М-48-VI (Улан-Удэ), 2001].

Пластово-трещинные воды мезозойских впадин. Водоносный горизонт отложений сотниковской свиты. Водоносные отложения сотниковской свиты в пределах Улан-Удэнской агломерации протягиваются вдоль всего северо-западного борта Иволгино-Удинского артезианского

бассейна. Среди водовмещающих пород преобладают глыбовые брекчии, валунные конгломераты с прослоями песчаников и алевролитов. Генетически это древние коллювиально-пролювиальные образования предгорного шлейфа. По характеру водоносности они сходны с современными отложениями аналогичного генезиса и содержат, в основном, поровопластовые безнапорные воды. Трещиноватость в породах развита слабо из-за недостаточной уплотнённости цемента. Глубина залегания подземных вод зависит от степени расчленённости бортов Иволгино-Удинской впадины речными долинами и изменяется вкrest простирания последних от нескольких метров до 60 м. Дебит скважин составляет 0,1-0,5 л/сек при понижениях 7-12 м. Химический состав вод преимущественно гидрокарбонатный кальциевый, реже гидрокарбонатный кальциево-натриевый. Минерализация составляет 0,1-0,4 г/л. В питании водоносного горизонта основную роль играют трещинные воды горного обрамления. Санитарное состояние водоносного горизонта хорошее, но практическое значение его невелико ввиду низкой производительности и большой глубины (60-70 м) эксплуатационных скважин.

Водоносный комплекс отложений селенгинской, убукунской и галгатайской свит. К этому водоносному комплексу относятся подземные воды мезозойских отложений, выполняющих Нижнеоронгойскую и Иволгино-Удинскую межгорные впадины. В гидрогеологическом отношении эти впадины представляют собой типичные артезианские бассейны, широко развитые в Западном Забайкалье. В отношении водоносности изучена только верхняя часть разреза этих отложений мощностью 150-200 м. Глубина залегания уровней изменяется от 3-4 м в центре до 50-60 м в бортах артезианских бассейнов. Водообильность и водопроницаемость пород зависят от их литологического состава и степени трещиноватости. В этом отношении особенно выделяются аргиллиты, трещиноватые разности которых обладают незначительной водопроницаемостью, а монолитные практически безводны. Дебиты скважин, в разрезе которых преобладают эти породы, имеют минимальные значения и не превышают 1-1,5 л/сек при понижениях до 50 м. Во всех остальных разновидностях пород оптимальный дебит скважин составляет 1-2 л/сек при понижениях от 1,5 до 15 м. Химический состав подземных вод преимущественно гидрокарбонатный кальциевый, реже гидрокарбонатный натриевый. Минерализация их не превышает 0,5 г/л. Питание подземных вод мезозойских отложений происходит за счёт трещинных вод горных массивов и атмосферных осадков. Режим водоносного комплекса в центральных частях артезианских бассейнов относительно стабилен. Амплитуда колебания уровней не превышает 0,8 м. На большей части площади своего распространения водоносный комплекс может использоваться для хозяйственно-питьевого водоснабжения [Геологическая карта: М-48-VI (Улан-Удэ), 2001].

Водоснабжение г. Улан-Удэ, базируется на водозаборах о. Богородского и о. Спасского. Водозаборы эксплуатируют водоносный горизонт аллювиальных отложений р. Селенга. Суммарные запасы воды составляют 159 тыс. м³/сутки [Замана, 1969, ф]. Воды пригодны для хозяйственно-питьевого использования без предварительного улучшения.

Климатические условия

Характерной чертой климата (таблица 2.1), является его резкая континентальность, обуславливающая холодную, продолжительную зиму ($t_{\min} = -51^{\circ}\text{C}$) и короткое, но сравнительно жаркое лето ($t_{\max} = 40^{\circ}\text{C}$).

Таблица 2.1 – Климатические параметры г. Улан-Удэ (за период 1998-2018 гг.) [по данным СП 131.13330.2020]

Наименование параметра	Значение
Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью 98%	-38
Температура воздуха, °С, обеспеченностью 98 %	28
Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	-51
Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	40
Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 0^{\circ}\text{C}$	175 сут - 14,6 °С
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	76
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	62
Количество осадков за ноябрь-март, мм	31
Количество осадков за апрель-октябрь, мм	223
Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль	З
Преобладающее направление ветра за июнь-август	СЗ

Средняя годовая скорость ветра составляет 2,7 м/с, наибольших значений средняя скорость ветра достигает в теплые месяцы с апреля по июнь – 3,4-3,8 м/с, с порывами до 15 м/с, самые низкие значения отмечаются в зимние месяцы – 1,9-2,1 м/с. Преобладающими направлениями ветра г. Улан-Удэ являются западное (декабрь-февраль) и северо-западное (июнь-август), реже всего наблюдаются ветра южного и юго-восточного направлений (рисунок 2.3).

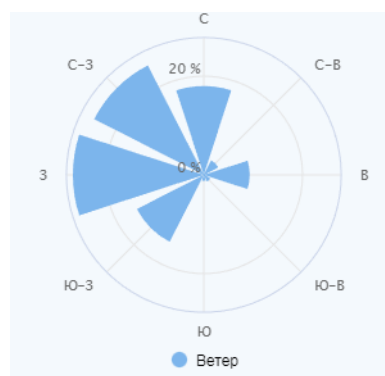


Рисунок 2.3 – Роза ветров для г. Улан-Удэ [по данным Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды]

Особенностью климата г. Улан-Удэ и прилегающих территорий является незначительное количество осадков. Среднее количество осадков в год – 254 мм, в холодный период года (ноябрь – март) выпадает 31 мм, в теплый (апрель-октябрь) – 223 мм. Причиной тому являются орографические барьеры хребтов Хамар-Дабан и Улан-Бургасы, окаймляющие Иволгино-Удинскую межгорную впадину, переваливая через которые влагонесущие воздушные массы значительно иссушаются [Сницаренко, 1983]. Для сравнения, среднее годовое количество осадков в г. Бабушкин, расположенном перед хребтами, составляет около 530 мм. По мнению Е.Я. Щербаковой хребты Хамар-Дабан, Улан-Бургасы и Икатский являются границей, за которой находится самая сухая часть Восточной Сибири [Щербакова, 1960]. Вместе с тем, в летний период осадки носят кратковременный и ливневый характер, вызывая грязевые потоки [Белоголовов, 1989].

Еще одной климатической особенностью является продолжительность солнечного сияния. В г. Улан-Удэ наблюдается 26 дней в году без солнца, из них по 4-6 дней в ноябре-январе и по 1-3 дня в марте, апреле и июле-октябре. В мае и июне пасмурных дней нет. Наибольшая непрерывная продолжительность солнечного сияния составляет 16 ч и наблюдается в мае-июле [Сницаренко, 1983]. Как следствие, средняя годовая суммарная радиация в г. Улан-Удэ составляет 4446 МДж/м², а при отсутствии облачности, но при той же прозрачности атмосферы – 6096 МДж/м², что соответствует максимальным уровням на территории Российской Федерации [Национальный атлас РФ, 2004].

Растительность

Растительно-почвенный компонент ландшафтов города плохо поддается систематическому наблюдению, поскольку сохранился на территории города только фрагментарно. На террасо-увалах песчаных озёрно-речных отложений, в расчленённой гористой северной и южной окраине сохранились участки соснового леса. В восточной части города, на правом берегу р. Уда выделяются лесостепные и степные участки. Растительность города представлена типичными древесно-кустарниковыми представителями урбанизированных территорий: тополь, сосна, клен, ива, акация, черемуха, ильм (вяз), лоза [Белоголовов, 1989]. На пригородных территориях в составе фитоценозов повсеместно встречаются представители степей – узколистные злаки: мятлики кистевидный (*Poa botryoides*), типчак ленский (*Festuca lenensis*), ковыли (*Stipa sibirica*) и разнотравия: лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*), полыни (*Artemisia*), прострел Турчанинова (*Pulsatilla turczaninowii*), вероника седая (*Veronica incana*), астра альпийская (*Aster alpinus*) и др. [Сымпилова и др., 2003]. Из травянистых растений доминантами являются осока твердоватая (*Carex duriuscula*), пырей ползучий (*Elytrigia répens*), полынь (*Artemisia*) [Перязева, Плюснин, 2007].

Почвы

Разнообразие форм рельефа вызывает значительную пестроту почвенного покрова г. Улан-Удэ. В нагорных частях города (северная и южные части) преобладают почвы дерново-лесные супесчаные с кальциевым классом водной миграции. Низинные места в пойме р. Уда и р. Селенга заняты лугово-аллювиальными почвами легкого гранулометрического состава с кальциево-глеевым классом миграции. В пониженных местах поймы отдельными пятнами встречаются болотные и лугово-болотные почвы с кислым классом миграции [Сницаренко, 1983; Белоголовов, 1989]. На лесостепных и степных участках восточной части города встречаются каштановые, солонцеватые почвы с кальциевым и кальциево-натриевым классами миграции, соответственно. На неоген-нижнечетвертичных бурых суглинках и глинах почвы каштановые, есть признаки солонцов, в которых возможен натриевый и хлор-сульфатный класс миграции. На высоких песчаных террасах правобережья р. Уда, где уничтожены растительный и почвенный покровы, наблюдаются многочисленные участки опустынивания [Белоголовов, 1989]. Антропогенное воздействие привело к образованию механически и химически преобразованных почв, экранозёмов, технозёмов и техногенных грунтов. Ярким примером техногенного грунта является шлакозолоотвал ТЭЦ-1.

По результатам почвенно-геохимической съёмки [Корляков и др., 2019] г. Улан-Удэ было установлено неопасное загрязнение почвенного покрова, что обусловлено невысокой современной аэралью поставкой тяжелых металлов и металлоидов, ливневым характером осадков в летний период и низкой сорбционной способностью почв. Почвенный покров характеризуется слабощелочной реакцией среды ($\text{pH} = 7,8$) в поверхностных горизонтах, низким содержанием физической глины (4,6 %) и гумуса (2,7 %). В среднем незначительные (1,5–2 раза) превышения фоновых уровней и ПДК в почвах на всей территории города характерны для Sb, Pb, Cd, Sn и Zn. На фоне слабого загрязнения почвенного покрова выделяется ряд контрастных ($\text{Kc} = 3-68$) геохимических аномалий Cu, W, Zn, Bi, Cd, Sn, Ni, As, Sb, Pb, Cr, Mo, сформировавшихся вблизи промышленных предприятий, автодорог, в огородной и жилой зонах с печным отоплением. Локальные превышения ПДК для Pb, Zn, As, Cu, Sb составляют 2–23 раза, суммарное загрязнение ТМ достигает опасного и очень опасного уровня. Контрастность геохимических аномалий может усиливаться при изменении почвенных свойств: увеличении содержания органического вещества, физической глины, оксидов железа и марганца [Убугунов, 2004].

Опасные природные процессы и явления

Неоднородные геологические условия территории Улан-Удэнской агломерации наряду с опасными гидрометеорологическими явлениями приводят к проявлению опасных природных

процессов и явлений в черте города и пригородной зоне [Мотошкина, 2015]. Среди них выделяются: наводнения, заторы, зажоры, наледообразование, выходы грунтовых вод, заболачивание, радоноопасность, оврагообразование, речная эрозия, эоловые процессы, засоление почвогрунтов, ветры, туманы, приземные инверсии. Кроме того, территория г. Улан-Удэ характеризуется высокой степенью сейсмической опасности – до 8-9 баллов [СП 14.13330.2018; ОСР-2015; Кибанов, 1977], что связано с тектонической активностью Байкальского рифта и повышенным микросейсмическим фоном [Беседина и др., 2022].

Опасным гидрологическим явлениям (наводнениям, заторам, зажорам, наледообразованию, выходам грунтовых вод) наиболее подвержены районы города, расположенные в левобережных долинах р. Селенга и р. Уда: дачные хозяйства, пп. Солдатский, Поселье, Исток, Сужа, Южный, Тальцы, о. Комсомольский, о. Богородский и др. Выходы грунтовых вод встречаются на территориях, относящихся к первой надпойменной террасе водооток по улицам Советского района г. Улан-Удэ: Балтахинова, Коммунистическая, Куйбышева, Каландарашвили, Советская, Шмидта, Свободы, Корабельная, Банзарова. Процесс заболачивания имеет локальный характер и развит преимущественно на пойменных территориях: на левобережье р. Селенга, в долинах рр. Уда, Верхняя Березовка, в пади Воровского. Суммарная площадь заболоченных территорий не превышает 100 га.

В северной части г. Улан-Удэ, вдоль северного борта Иволгино-Удинской впадины, по результатам съемок, проводимых на территории города ПГО «Бурятгеология» (г. Улан-Удэ) и ЗабНИИ (г. Чита) [Мотошкина, 2015] в период 1990-2000 гг. была выявлена радоноопасная субширотная зона. Зона характеризуется значительной протяженностью при ширине 0,5-3,0 км. Наиболее контрастная гамма-аномалия приурочена к району п. Лысая Гора и п. Аршан. Основными радонопроводящими каналами являются тектонические нарушения и зоны их пересечения.

Образованию оврагов способствуют значительные уклоны поверхности, развитие в верхней зоне легкоразмываемых пород, ливневой характер атмосферных осадков, хозяйственная деятельность человека – вырубка леса, кустарника, распашка склонов под индивидуальные огороды и др. На территории города насчитывается около полутора десятков действующих оврагов, суммарной протяженностью до 30 км. По берегам рр. Уда и Селенга на отдельных участках отмечается подмыв и, как следствие, обрушение склонов, сложенных преимущественно супесчано-песчаным и песчано-гравийным материалом. Особенно активны эти процессы во время прохождения паводков с большими скоростями течения.

В левобережной части поймы р. Селенга (в районе п. Исток, местами на левобережной надпойменной террасе р. Уда, а также в районе ТЭЦ-2) наблюдаются эоловые процессы, заключающиеся в развеивании и перевевании песков.

На низких левобережных террасах р. Селенга в приповерхностном слое мощностью 0,6-1,0 м проявляется засоление (слабое и среднее) почв, что связано с испарением грунтовых вод при их капиллярном поднятии в глинистых и суглинистых грунтах. Тип засоления преимущественно сульфатный, сульфатно-содовый.

Таким образом, территория Улан-Удэнской агломерации характеризуется разнообразной эколого-геологической обстановкой, обусловленной сложным 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.

2.2 Краткая историческая справка о захоронении отходов на территории Улан-Удэнской агломерации

Результаты этой подглавы основаны на опубликованных ранее работах автора [Чередова, 2023, п.127 списка литературы]. Деятельность промышленных предприятий и объектов социальной сферы г. Улан-Удэ привела к необходимости организации объектов захоронения коммунальных и промышленных отходов как в границах города, так и в пригороде. История захоронения отходов позволяет выделить три этапа:

- Этап 1. Стихийное появление свалок коммунальных и промышленных отходов вокруг жилых микрорайонов и промышленных предприятий в период с 1940-х до 1990-х гг.
- Этап 2. Появление заброшенных территорий нерекультивированных свалок, связанных с закрытием большинства предприятий в период с первой половины 1990-х до начала 2000-х гг.
- Этап 3. Строительство новых полигонов, отвечающих экологическим требованиям и рекультивация старых свалок, начиная с 2007 г. и 2019 г., соответственно и продолжающийся по настоящее время.

Первый этап связан с развитием промышленности г. Улан-Удэ, которая получила бурное развитие с 30-х годов прошлого века. В это время были открыты локомотивовогоноремонтный завод (ЛВРЗ) (1934 г.), судоремонтный завод (1934 г.), Улан-Удэнский стекольный завод (1935 г.), Улан-Удэнский авиационный завод (У-УАЗ) (1939 г.), тонкосуконная фабрика (1946 г.), Улан-Удэнский завод «Теплоприбор» (1962 г.), завод мостовых металлических конструкций (ЗММК) (1973 г) и многие другие предприятия различных отраслей промышленности. Вокруг каждого крупного предприятия размещались объекты социального назначения: рабочие поселки, объекты здравоохранения, образовательные учреждения, создавая при этом целые микрорайоны,

названия которых и сейчас отражают историю города. Для обеспечения населения водо- и теплоснабжением строились централизованные сети. Деятельность промышленных предприятий и предприятий сферы услуг была источником образования значительного количества отходов. Опубликованных данных по организации официальных свалок на территории города за период 1930-1960 гг не найдено. Вопросы рационального использования природных ресурсов на территории Республики Бурятия (ранее Бурятской АССР) активно начали изучаться учёными с конца 1970-х – начала 1980-х гг. [Гофман, 1984, ф; Замана 1979 ф]. Позже, в конце 80-х годов прошлого века Центральной эколого-геохимической партией был выполнен ряд работ по выявлению техногенных геохимических аномалий на территории некоторых промышленных центров республики [Белоголовов, 1986]. В рамках работ была проведена эколого-геохимическая съёмка г. Улан-Удэ, экологическое обследование воздушного бассейна, радиологическое обследование северной части города и ряд других изысканий экологической направленности [Одегов, 1991, ф]. Одной из них была работа по эколого-геохимической съёмке свалок [Жбанов, 1992, ф], основными задачами которой являлись их инвентаризация, анализ твёрдофазных геохимических проб на тяжелые металлы и проведение аэрозольной съёмки вокруг свалок. К сожалению, в связи с сложной экономической ситуацией того времени в России, работы были проведены не в полном объёме, но тем не менее они позволили выявить на территории г. Улан-Удэ более 15 мест захоронения промышленных и бытовых отходов: отвалы угольного месторождения с повышенным радиоактивным фоном (Лысогорское бурогольное месторождение), золошлакоотвалы (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ЛВРЗ), площадки для размещения осадков городских очистных сооружений, отстойники жидких отходов (Стеклозавод-2, ЛВРЗ, ТЭЦ-1), свалка промышленных отходов У-УАЗ на окраине п. Восточный в пади Бабасанова, городская свалка коммунальных отходов п. Стеклозавод, а также прочие более мелкие свалки коммунальных и строительных отходов в п. Комушка, п. Силикатный, п. Матросова, п. Загорск и др. (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Характеристика свалок промышленных и коммунальных отходов г. Улан-Удэ по состоянию на 1992 г. [по данным Жбанов, 1992, ф]

№ п/п	Наименование свалки	Площадь, кв.км	Объем, тыс. м ³	Категории территории по защищенности подземных вод*	Морфометрические показатели места расположения отходов, км**	Ландшафтно-геоморфологическая характеристика основания свалки / подстилающие породы
1	Городская свалка п. Стеклозавод	0,8	660	III-IV	$\frac{3-0,5}{1,5}$	Склон умеренной крутизны / Конгломераты
2	Свалка У-УАЗ (падь Бабасанова)	0,25	380	III-IV	$\frac{1,4-0}{0,3}$	Устьевая часть Бабасановой пади, на склоне умеренной крутизны / Конгломераты
3	Городские очистные сооружения	0,15	270	IV	$\frac{0,01}{0,01}$	Вторая терраса р. Селенга / Пески, галечники
4	Золошлакоотвал ТЭЦ-1, отстойник ЛВРЗ	0,4	2000	I	1-0	Пологий склон / Конгломераты, песчаники 1-2 м.

Продолжение таблицы 2.2

№ п/п	Наименование свалки	Площадь, кв.км	Объем, тыс. м ³	Категории территории по защищенности подземных вод*	Морфометрические показатели места расположения отходов, км**	Ландшафтно-геоморфологическая характеристика основания свалки / подстилающие породы
5	Свалка «Вторцветмет»	0,04	20	I	0,04	Пойма р. Уда / Галечники, песчаники
6	Нефтебаза	0,5	0,005	II	0,25	Склон умеренной крутизны / Конгломераты, галечники, пески
7	Центральная республиканская больница	0,0005	0,02	II-III	0,6	Склон умеренной крутизны / Пески
8	Свалка п. Ко-мушка	0,8	0,160	IV	$\frac{1,2-(0+0,6)}{0,9}$	Склон умеренной крутизны / Пески
9	Свалка ТЭЦ-2	0,5	0,33	IV	$\frac{2,6-0,3}{0,9}$	Склон умеренной крутизны / Пески
10	Свалка п. Силикатный	0,35	0,1	I-II	К протоке р. Селенга	Крутой склон / Пески
11	Свалка-отстойник «Стеклозавод-2»	0,04	0,35	IV	$\frac{1,7-0}{0,3}$	Склон средней крутизны / Алевролиты, песчаники, конгломераты
12	Свалка района «Фруктово-ягодная станция»	0,25	0,48	I	1,7-0,3	Склон умеренной крутизны / Конгломераты
13	Свалка Загорск-Западный	0,7	0,35	III-IV	2-(0+0,3)	Склон умеренной крутизны / Конгломераты.
14	Свалка «Бурятфермаш»	0,04	16	IV	$\frac{1,25-0,6}{0,2}$	Склон умеренной крутизны / Конгломераты.
15	Свалка п. Матросова	0,045	16	II-III	0,45	Пойма р. Уда / Алевролиты, песчаники, конгломераты, суглинки, пески, галечники

Примечание:

*территория по категории защищенности подземных вод [по данным Соколовская, Шульга, Курочкина, 1991, ф]:
 I – очень слабо защищенные (менее 5 баллов) территории, необходимо предусмотреть защитные мероприятия до сооружения объектов негативного воздействия;

II – слабо защищенные (5-10 баллов) – необходимо предусмотреть защитные мероприятия;

III – относительно-защищенные (11-15 баллов) – необходимо проведение профилактических защитных мероприятий;

IV – хорошо защищенные (более 15 баллов) – проведение защитных мероприятий не требуется.

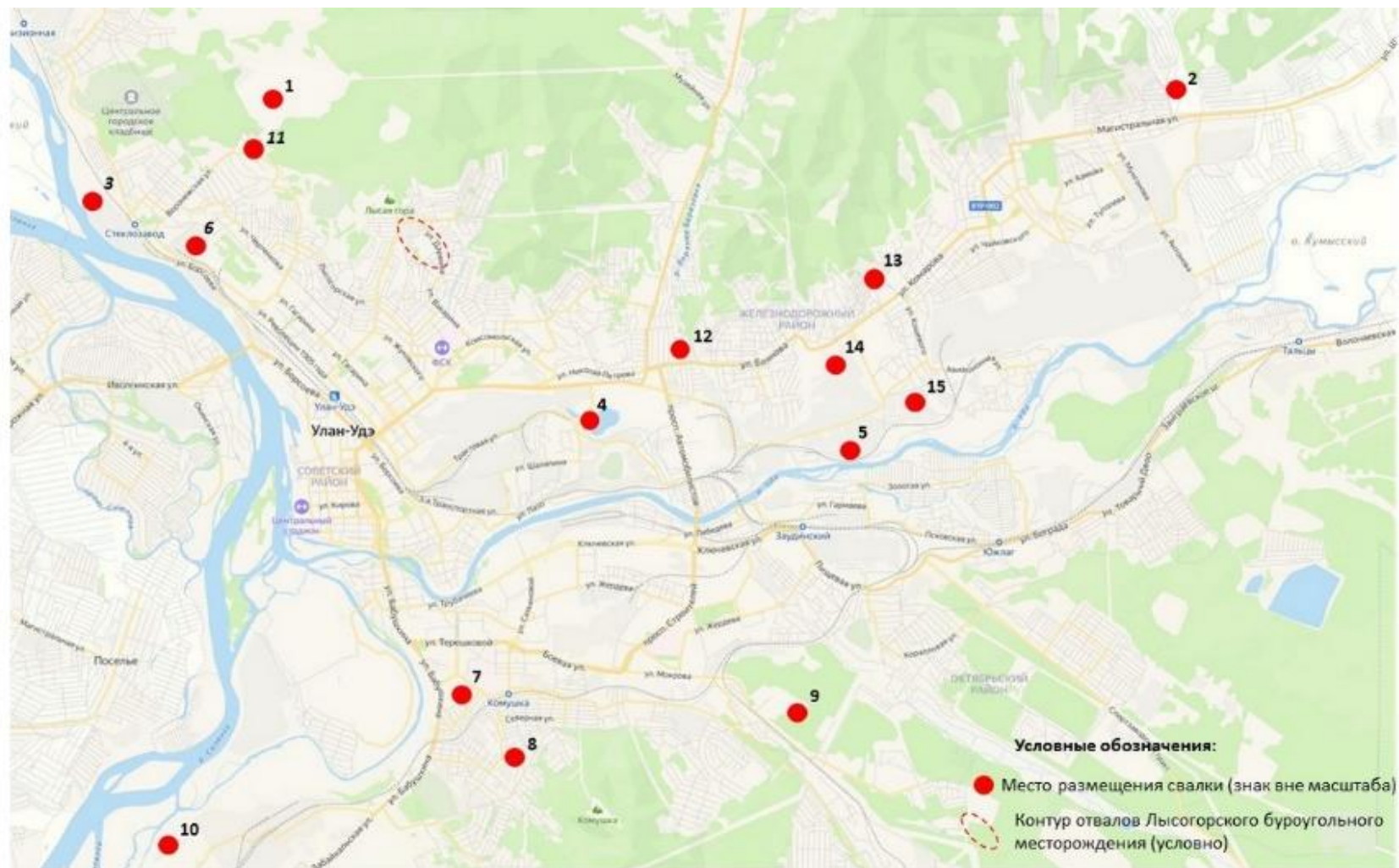
** цифры обозначают: первая цифра числителя – расстояние до р. Селенга или р. Уда; вторая – до местного базиса эрозии; знаменатель – расстояние до ближайшей слабо защищенной территории от загрязнения подземных вод.

Суммарный объем отходов, накопленных на свалках г. Улан-Удэ (по состоянию на 1992 г.), составлял 3364 тыс. м³, суммарная площадь – около 500 га. Из рассматриваемых 15 свалок, 5 объектов (33%) были расположены в пределах незащищенных от загрязнения подземных вод территорий (I и II тип), 10 объектов (67%) – на границах относительно защищенных и хорошо защищенных территории (III и IV тип) [Соколовская, 1991, ф].

Большинство свалок в пределах территории Улан-Удэ и его пригорода было расположено на правом берегу р. Уда (рисунок 2.4). Это объясняется исторически сложившимся развитием городской инфраструктуры, в которой все промышленные предприятия располагались вдоль транс-сибирской магистрали, за городом, а позже оказались в субширотной полосе, проходящей через

центр города. Старые свалки преимущественно располагались в днищах небольших распадков на местах вылаживания общей склоновой поверхности, которые характеризуются сменой лесостепного ландшафта на степной. Также, в качестве участков для организации свалок, зачастую использовались территории, прилегающие к действующим предприятиям. Так, рядом с заводами «Электромашина», ЛВРЗ, «Бурферммаш», ЗММК и др., были образованы техногенные отложения из инертных строительных отходов (лом черных и цветных металлов, бой кирпича, бетона, цемента и т.п.), мощность которых в отдельных искусственных террасах достигала 5-12 м. Такие террасы использовались в дальнейшем для размещения промышленных участков и складских помещений.

В период 1990-2006 гг. в связи с ликвидацией большинства промышленных предприятий г. Улан-Удэ многие свалки были закрыты, некоторые из них засыпаны и на их месте построены другие промышленные объекты, складские помещения, а в некоторых случаях и жилая застройка (п. Комушка, п. Восточный) [Гельман, 2014].



1 – свалка твёрдых коммунальных отходов (ТКО) п. Стеклозавод; 2 - свалка промышленных отходов У-УАЗ (падь Бабасанова); 3 – иловые карты очистных сооружений г. Улан-Удэ, 4 – золошлакоотвал ТЭЦ-1, отстойник жидких отходов ЛВРЗ, 5 – свалка «Вторцветмет»; 6 – нефтебаза; 7 – Центральная республиканская больница; 8 – свалка ТКО п. Кошушка; 9 – свалка ТЭЦ-2; 10 – свалка п. Силикатный; 11 – свалка-отстойник «Стеклозавод-2»; 12 – свалка района «Плодово-ягодная станция»; 13 – свалка ТКО п. Загорск-Западный; 14 – свалка «ЗММК-Бурятфермаш»; 15 – свалка п. Матросова

Рисунок 2.4 – Схема размещения мест захоронения промышленных и бытовых отходов на территории г. Улан-Удэ (по состоянию 1992 г.)

По данным Забайкальского межрегионального управления Росприроднадзора [<https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/>] на начало отчётного периода 2024 г на территории Республики Бурятия в государственном реестре объектов размещения отходов (ГРОРО) зарегистрировано 4 полигона коммунальных отходов:

1. Полигон ТКО с. Петропавловка, номер в ГРОРО 03-00068-3-00509-171122. Ближайший населенный пункт – с. Петропавловка (Джидинский район РБ). Площадь полигона 3,0 га. Эксплуатирующая организация – АО «Республиканский мусороперерабатывающий завод». Проектная вместимость полигона – 50956,2 т / 169854 м³; остаточная вместимость полигона – 34424,73 т / 114749,1 м³; полигон заполнен на 32% (по массе).

2. Полигон ТКО п. Заиграево, номер в ГРОРО 03-00060-3-00236-040320. Ближайший населенный пункт – п. Заиграево (Заиграевский район РБ). Площадь полигона 3,15 га. Эксплуатирующая организация – АО «Республиканский мусороперерабатывающий завод». Проектная вместимость полигона – 42375 т / 169500 м³; остаточная вместимость полигона – 7249,495 т / 28997,98 м³; полигон заполнен на 83% (по массе).

3. Полигон ТКО СП «Эгитуйское», номер в ГРОРО 03-00059-3-00416-250719. Ближайший населенный пункт – с. Можайка (Еравнинский район РБ). Площадь полигона 3,51 га. Эксплуатирующая организация – АО «Республиканский мусороперерабатывающий завод». Проектная вместимость полигона – 9265 т / 46326 м³; остаточная вместимость полигона – 3488,115 т / 17440,575 м³; полигон заполнен на 62%.

4. Полигон твердых бытовых отходов г. Гусиноозерск, номер в ГРОРО 03-00033-3-00592-250914. Ближайший населенный пункт – г. Гусиноозерск (Селенгинский район РБ). Площадь полигона 5,76 га. Эксплуатирующая организация – ИП Калашников Н.Д. Проектная вместимость полигона – 172233 т / 246047 м³; остаточная вместимость полигона – 77923 т / 84472 м³; полигон заполнен на 55%.

Выбор мест размещения полигонов коммунальных отходов, зарегистрированных в ГРОРО, был проведён с учетом геологических, гидрогеологических и экологических особенностей местности. Проектная документация на строительство полигонов в обязательном порядке проходила государственную экологическую экспертизу. На объектах ведется учёт накопленных отходов и мониторинг загрязнения окружающей среды. Существенным недостатком при эксплуатации зарегистрированных полигонов является отсутствие предварительной сортировки отходов, что приводит к высокой скорости заполнения чаш захоронения. Процент заполнения большинства действующих полигонов варьируется от 49 % до 95 %, что, при современных объёмах образующихся ТКО, может привести к мусорному коллапсу прежде всего в г. Улан-Удэ уже в ближайшие годы.

3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Объекты исследования

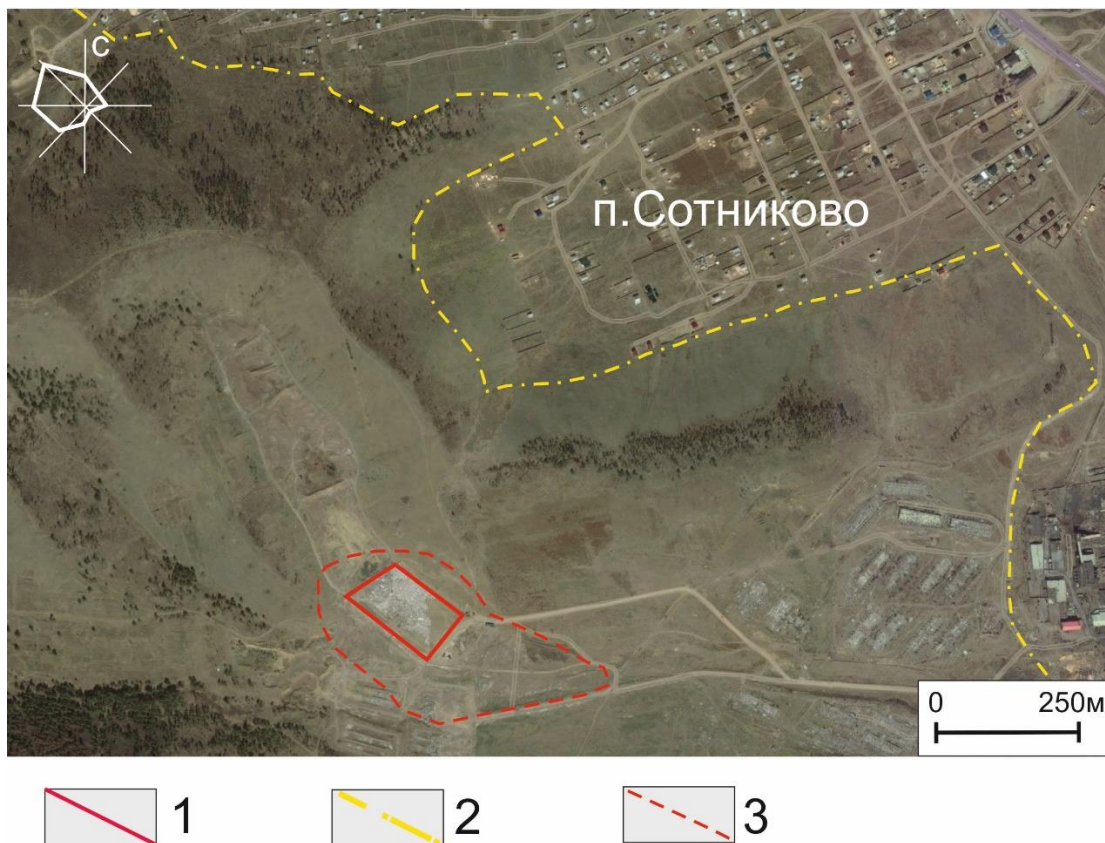
Как было отмечено в разделе 2.2, к началу 90-х гг. в пределах Улан-Удэнской агломерации насчитывалось около 15 свалок промышленных и бытовых отходов суммарной площадью более 500 га. В настоящее время к крупным действующим объектам размещения отходов г. Улан-Удэ относятся шлакозолоотвалы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, иловые карты городских очистных сооружений, полигон коммунальных отходов с. Нижний Саянтуй Тарбагатайского района Республики Бурятия. Кроме того, имеется ряд закрытых объектов размещения отходов, рекультивация на которых не проведена, в связи с чем данные объекты были выбраны в качестве объектов исследования. К ним относятся свалки бытовых отходов п. Сотниково, п. Стеклозавод, участок захоронения золошлаковых отходов Улан-Удэнского авиационного завода п. Площадка, свалка промышленных отходов п. Восточный в местности падь Бабасанова (рисунок 3.1).



1 – свалка п. Сотниково; 2 – свалка п. Стеклозавод; 3 – свалка п. Площадка; 4 – свалка падь Бабасанова

Рисунок 3.1 – Схема расположения объектов исследования в пределах Улан-Удэнской агломерации

Свалка п. Сотниково расположена в Иволгинском районе Республики Бурятия, юго-западнее с. Сотниково. Расстояние от свалки до ближайшего жилого массива составляет около 400 м (рисунок 3.2), ближайшего водного объекта, р. Селенга – около 2,0 км (см. рисунок 3.1).



1 – условная граница свалки; 2 – граница ближайшего жилого массива; 3 – граница захлампённой территории

Рисунок 3.2 – Ситуационная схема расположения свалки п. Сотниково

Проектная документация на объект размещения коммунальных отходов в п. Сотниково (полигон ТКО п. Сотниково) была разработана в 2009 г. АО «Байкалводпроект» (г. Улан-Удэ). Проектом предполагалось обслуживание полигоном девяти населённых пунктов Ошурковского, Гурульбинского и Нижне-Иволгинского сельских поселений, а также г. Улан-Удэ. Участок для размещения свалки был выбран в районе расположения бывшего помётохранилища недействующей Сотниковской птицефабрики (ликвидирована в 2005 г). Общая площадь отведённого земельного участка для свалки составляла 8 га, которые были разделены на несколько секций. В связи с метеорологическими особенностями территории и повышенного коэффициента испарения (расчётная испаряющаяся способность полигона 630 мм, что выше суммы осадков 287 мм) строительство дренажной сети в основании полигона предусмотрено не было [Проект рекультивации полигона с. Сотниково, 2017, ф].

Проектная вместимость полигона предусматривалась 58,5 тыс. м³, плановая продолжительность эксплуатации – 13 лет. Первая очередь полигона была введена в эксплуатацию в 2011 г. После заполнения одной из карт свалки на площади 2,77 га выяснилось, что ее местоположение попадает в подзону с особыми условиями использования аэропорта г. Улан-Удэ (реестровый номер 03:00-6.184), и растущая свалка может помешать посадке авиационного транспорта, поэтому официально свалка была закрыта в 2015 г. На этот момент высота складированного мусора достигала 6,0-8,2 м, высота мусора над рельефом – 5,0-6,5 м, объём накопленных отходов – 97 133,27 т. Проект рекультивации свалки по ряду причин не прошёл государственную экологическую экспертизу, и открытая карта свалки оказалась заброшенной.

К настоящему времени свалка представляет собой единую насыпь техногенного грунта, представленного смесью уплотненных отходов. По морфологическому составу отходы представлены, в основном, компонентами коммунальных отходов: текстиль, пластик, битое стекло, металл, бумага, встречаются отходы люминесцентных ламп и термометров. Частично встречается строительный мусор. Центральная часть свалки состоит из насыпного, утрамбованного, неоднородного по составу бытового и строительного мусора: макулатура, пластмасса, проволока, ж/б блоки, ветошь, мебель, металлом, битое стекло, банки, бутылки, одежда. Пищевые отходы на поверхности центральной насыпи свалки отсутствуют в силу их высокой скорости перегнивания. На техногенном грунте свалочного тела естественным путём начал формироваться почвенно-растительный слой, высота травянистых растений достигает в некоторых местах 20 см, появились кустарники (вишня войлочная, смородина двуиглая, ильм). К сожалению, несанкционированный вывоз населением мусора продолжается, что способствует захламлению прилегающей территории свалки (см. рисунок 3.2). На прилегающей территории, прежде всего со стороны подъездных дорог, встречаются пищевые отходы, строительный мусор и прочие компоненты твёрдых коммунальных отходов.

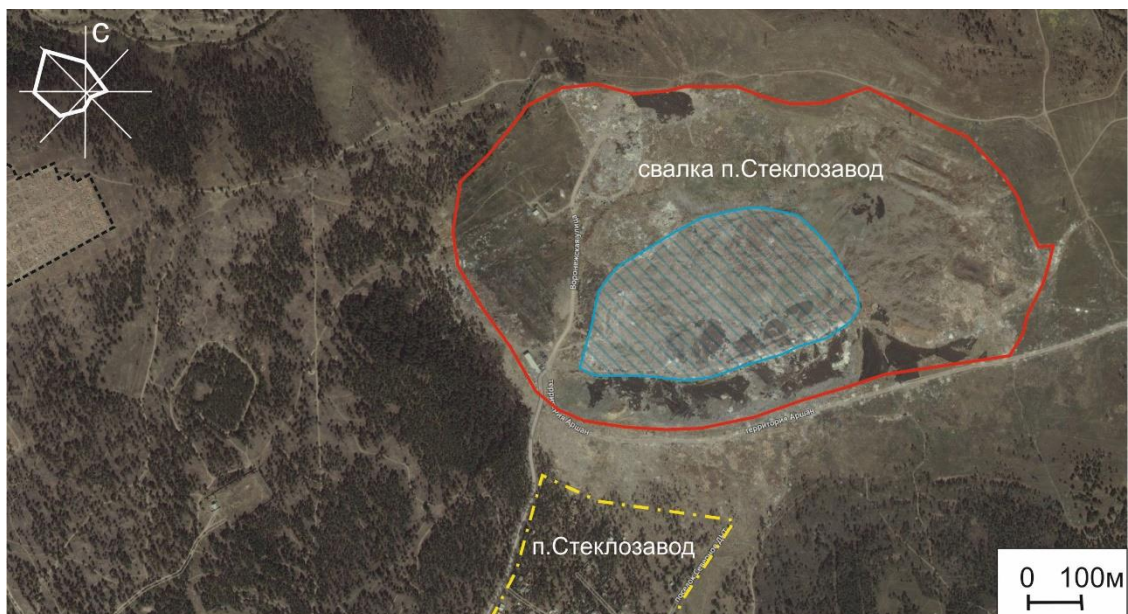
В геоморфологическом отношении площадка свалки расположена на левобережье р. Селенга в сухом распадке, относящемся к южным отрогам хребта Хамар-Дабан. Район размещения свалки п. Сотниково характеризуется развитием широкого комплекса интрузивных, осадочных и метаморфических пород, различных по возрасту, генезису и литологическому составу, среди которых распространены породы докембрия, нижнего кембрия, нижнего и верхнего мела, неогена и четвертичные отложения [Царев, Батуева, 2013].

По результатам изысканий [Инженерные изыскания, с. Сотниково, 2017] на поверхности изучаемой территории до глубин 1,0-1,6 м вскрыты насыпные грунты из песка с включениями компонентов отходов. Под слоем насыпных грунтов были вскрыты пески гравелистые и грунты щебенистые с песчаным заполнителем мощностью до 2,4-3,0 м, обладающие повышенным коэф-

фициентами фильтрации – до 2,1 и 8,3 м/сутки, соответственно. На глубинах 2,5-4,5 м повсеместно были вскрыты трещиноватые коренные породы – конгломераты сотниковской свиты средней прочности. Таким образом, основание полигона представлено делювиально-пролювиальными песчаными и крупнообломочными грунтами, подстилаемыми коренными породами.

В гидрогеологическом отношении площадка находится в пределах развития водоносных комплексов горного обрамления и горизонта аллювиальных отложений долины р. Селенга, являющейся основной водной единицей района свалки п. Сотниково. Для водовмещающих отложений характерны изменчивость их как по мощности, так и в фациально-литологическом отношении. По степени защищённости подземные воды относятся к незащищённым. По результатам инженерно-гидрогеологических изысканий на глубину 20 м подземные воды встречены не были [Инженерные изыскания, с. Сотниково, 2017].

Свалка п. Стеклозавод расположена в Советском районе г. Улан-Удэ, северо-восточнее от п. Стеклозавод. Расстояние от границы свалки до ближайшего жилого массива составляет около 100-150 м (рисунок 3.3), до ближайшего водного объекта (р. Селенга) – около 3,0 км (см. рисунок 3.1).



- 1 – условная граница свалки; 2 – граница ближайшего жилого массива; 3 – граница кладбища п. Стеклозавод;
4 – условная граница складирования снежного покрова в зимний период

Рисунок 3.3 – Ситуационная схема расположения свалки п. Стеклозавод

Свалка бытовых и строительных отходов п. Стеклозавод функционировала на территории г. Улан-Удэ 46 лет (1960-2006 гг.) и была предназначена для складирования коммунальных и

строительных отходов города. Предварительных работ по инженерной подготовке бортов и днища основания свалки не проводилось. Площадь свалки составляет 63 га. Около 80% территории свалки занято отвалами отходов высотой до 10 м и более. После закрытия свалки с 2007 г на её территории проводились работы по перекрытию верхней площадки насыпи отходов грунтами (суглинистые грунты, грунты от раскопа котлованов при строительстве и т.п.), мощность насыпных грунтов в среднем составляет 0,8 м, мощность насыпи захороненных отходов достигает 30 м. Долгое время складирование отходов на свалке проводилось стихийно, в связи с чем точное количество захороненных отходов на свалке установить сложно. Ориентировочно, объём накопленных отходов составляет около 7,31 млн. м³ [Проект рекультивации свалки п. Стеклозавод, 2018, ф]. Центральная часть свалки состоит из насыпного, утрамбованного, неоднородного по составу бытового и строительного мусора: бумага, пластмасса, проволока, железобетонные блоки, ветошь, мебель, металлолом, битое стекло, банки, бутылки, одежда. Материал смешан с рыхлым строительным мусором (штукатурка, цемент, краски и т.д.) и не дифференцируется. В настоящее время свалка продолжает использоваться в зимний период для складирования снега от уборки городской территории. На свалке сформирован устойчивый почвенно-растительный покров, покрывающий свалку примерно на 70% по площади; глубина дернового горизонта достигает 10-30 см. Основным видом растительности являются сорные травы: пырей, полынь, марь белая и др. Свалка имеет ограждение и пункт охраны, поэтому прилегающая территория свалки находится в удовлетворительном состоянии.

Геологическое строение района размещения свалки п. Стеклозавод представлено в основном разнородными сотниковской свиты. Четвертичные отложения представлены пролювиально-делювиальными отложениями, состоящими из дресвяно-щебеночных грунтов с супесчанно-суглинистыми заполнениями, являющимися водоупорами и образующими маломощный чехол рыхлых отложений с включением отдельных глыб. Мощность отложений и их простираения не имеют определенной закономерности. На большей части площади свалки в верхних частях геологических разрезов, а также в их основаниях встречается желтоватая/темно-сероватая супесь дресвянистая [Инженерные изыскания, п. Стеклозавод, 2018]. Далее наблюдается суглинок дресвянистый желтоватого / светло-серо-бурого цвета, который в некоторых местах выходит на поверхность свалки. Суглинок характеризуется пониженными коэффициентами фильтрации 0,2-0,4 м/сут. Кроме того, в средней части разрезов и в их основании, встречаются грунты дресвяные с заполнителем из супеси, суглинка, песка пылеватого и щебенистого грунта. Данные грунты характеризуются желтовато-бурый/серым цветом и повышенными коэффициентами фильтрации – 4-4,5 м/сут. Пески пылеватые и гравелистые находятся в увлажненном состоянии. Во всех горизонтах присутствуют отдельные глыбы, составляющие от 5 до 10% массы грунтов и

дресва размером 2-10 мм от 1,8 до 47,4%. В петрографическом отношении крупнообломочные составляющие представлены средневыветренными гранитоидами.

Исследуемый участок расположен на высоком правом берегу р.Селенга. Грунтовые воды изучаемого участка относятся к Усть-Селенгинскому артезианскому бассейну, который контактирует с поверхностными водами оз. Байкал. На свалке ТКО грунтовые воды буровыми работами до глубины 30 метров не вскрыты [Инженерные изыскания, п. Стеклозавод, 2018]. Ближайшая наблюдательная скважина (глубиной 60 м) находится на расстоянии 1924 м от свалки на территории нефтебазы ПАО «Бурятнефтепродукт».

Участок рекультивации п. Площадка (свалка п. Площадка) расположен в северо-восточной части Железнодорожного района г. Улан-Удэ, в центральной части поселка. Расстояние от границы свалки до ближайшего жилого массива составляет менее 50 м (рисунок 3.4), до ближайшего водного объекта (р. Уда) – около 550 м (см. рисунок 3.1).



1 – условная граница свалки; 2 – граница ближайшего жилого массива; 3 – граница промышленной зоны; 4 – граница ближайшего водного объекта

Рисунок 3.4 – Ситуационная схема расположения свалки п. Площадка

Участок, выделенный под складирование отходов, имеет площадь 4,5 га; его расчётная вместимость – около 191 тыс.м³. Образование объекта размещения отходов в центральной части п. Площадка связано с наличием на этой территории отработанного карьера Верхне-Берёзовского месторождения кирпичных суглинков, разведанного в 1953-1954 гг и законсервированного в

1963 г. Практика рекультивации нарушенных земель с использованием инертных отходов производства и потребления долгое время имела широкое распространение на территории Российской Федерации. Такая возможность была предусмотрена ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» и СП 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твёрдых бытовых отходов». В связи с этим, в 2011 г. Улан-Удэнским авиационным заводом был разработан рабочий Проект по рекультивации нарушенного земельного участка с использованием золошлаковых и строительных отходов [Проект рекультивации, 2011, ф]. Изначально площадка рекультивации находилась с западной стороны от п. Площадка вдали от жилого массива. В настоящее же время участок окружен с трех сторон жилыми домами. Рекультивационные работы на данном карьере, предусмотренные проектом, завершаются: он практически полностью засыпан золошлаковыми и инертными строительными отходами Улан-Удэнского авиационного завода, в верхней части покрыт привозным дерновым грунтом мощностью 20-40 см. Растительный покров сформирован самозарастанием и представлен единичными травянистыми растениями (пырей, полынь, марь белая и др.).

Золошлаковые отходы, образующиеся в результате сжигания топлива в котельной Улан-Удэнского авиационного завода, согласно проектной документации предприятия [Протоколы определения классов опасности отходов, 2009] относятся к 5 классу опасности для окружающей среды в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) [Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 г. № 242], инертные строительные отходы – к 4 классу опасности.

Химический состав золошлаковых отходов может варьироваться в широких пределах в зависимости от химического состава угля того или иного месторождения. На предприятии в качестве топлива большей частью используется каменный уголь Тугнуйского месторождения.

Золошлаковые отходы, используемые при рекультивации земельного участка, состоят в основном из диоксида кремния – до 65,5% и оксида алюминия – до 16,9%, а также характеризуются достаточно высокими содержаниями оксидов кальция – до 6,5 % и оксидов железа (III)– до 6,3 % и относительно невысокими содержаниями (до 1 %) оксидов калия, натрия, серы, фосфора и ряда других химических элементов (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Химический состав золошлаковых отходов, используемых при рекультивации земельного участка в п. Площадка [по результатам количественного химического анализа Центра лабораторного анализа и технических измерений, г. Улан-Удэ, 2009]

Наименование показателя	Содержание, масс. %
Кремния диоксид (SiO ₂)	62,52
Кальция оксид (CaO)	6,51
Алюминия оксид (Al ₂ O ₃)	16,86

Продолжение таблицы 3.1

Наименование показателя	Содержание, масс. %
Железа (III) оксид (Fe_2O_3)	6,28
Марганца оксид (MnO)	0,20
Титана диоксид (TiO_2)	0,80
Магния оксид (MgO)	2,04
Железа (II) оксид (FeO)	1,52
Фосфора оксид (P_2O_5)	0,50
Серы триоксид (SO_3)	0,18
Натрия оксид (Na_2O)	0,20
Калия оксид (K_2O)	1,40
Влажность	0,99

В составе инертных строительных отходов Улан-Удэнского авиационного завода преобладают отходы древесины, кирпич, бетон, известь и штукатурный раствор (таблица 3.2).

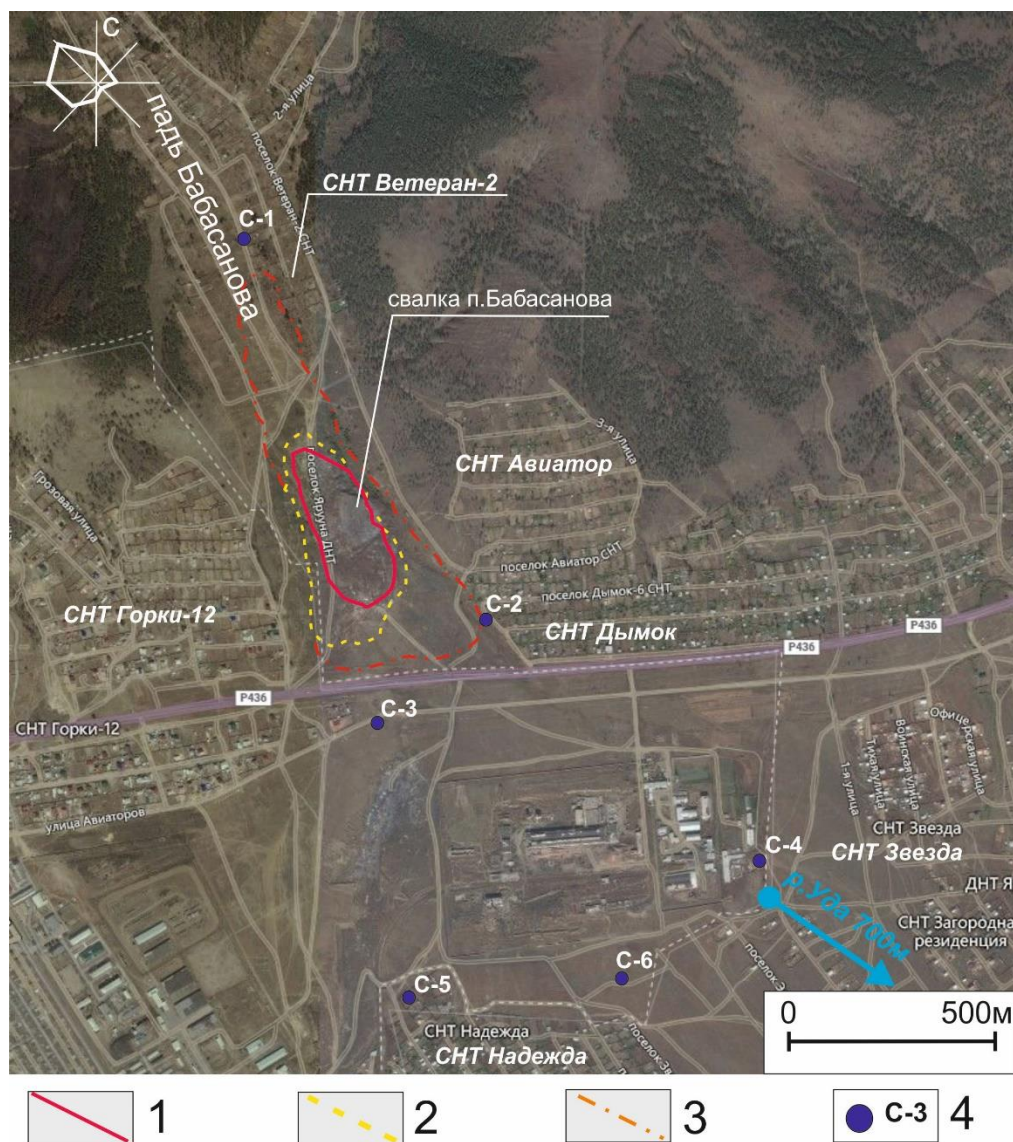
Таблица 3.2 – Морфологический состав строительных отходов, используемых при рекультивации земельного участка в п. Площадка [по данным Паспорта опасного отхода предприятия]

Наименование показателя	Содержание, масс. %
Отходы древесины	53
Кирпич, бетон, известь, штукатурный раствор	41
Кровельный рубероид	5
Стекло	1

В геоморфологическом отношении участок размещения площадки рекультивации расположен на высокой пойме р. Уда, относящейся к террасе низкого уровня на поверхности холмисто-увалистого предгорья хребта Улан-Бургасы. В геолого-структурном отношении район располагается в восточной части Иволгино-Удинской межгорной впадины. Геологический разрез представлен четвертичными отложениями: светло-коричневыми дресвяными суглинками, коричневыми и тёмно-серыми алевролитами (глинами). Глины, являющиеся естественными грунтами днища карьера, обладают низким коэффициентом фильтрации равным 10^{-3} м/сек, поэтому работ по искусственной подготовке основания карьера перед рекультивацией проектом предусмотрено не было.

Район размещения площадки рекультивации характеризуется распространением нижнемелового водоносного комплекса, залегающего на глубинах 14,45-2704 м. Комплекс приурочен к осадочным породам, представленным преимущественно корой выветривания алевролитов. Благодаря низкому коэффициенту фильтрации алевролиты являются хорошими естественными водоупорами. Подземные воды на рассматриваемом участке относятся к категории естественно защищённых. На свалке Улан-Удэнским авиационным заводом ведётся регулярный мониторинг загрязнения подземных вод.

Свалка п. Восточный (падь Бабасанова) расположена с северо-восточной части от г. Улан-Удэ на территории Заиграевского района Республики Бурятия в русле сухого ручья пади Бабасанова (см. рисунок 3.1). Свалка окружена дачными хозяйствами: с северной стороны – ДНТ «Ветеран-2», с западной – ДНТ «Горки», с восточной – ДНТ «Авиатор» и ДНТ «Дымок», с южной – пос. Восточный. Расстояние от границы свалки до ближайшего жилого массива составляет менее 50 м, до ближайшего водного объекта (р. Уда) – около 1 км (рисунок 3.5).



1 – условная граница свалки; 2 – граница основного тела свалки (по данным 1992 г);
3 – фланги свалки (по данным 1992 г); 4 – мониторинговые скважины (по данным 1992 г)

Рисунок 3.5 – Ситуационная схема расположения свалки в пади Бабасанова

Свалка в приустьевой части пади Бабасанова была организована ориентировочно в 1960 г. Первоначально она находилась на значительном (более 2 км) расстоянии от жилой зоны г. Улан-Удэ и не представляла реальной угрозы здоровью населения. Однако позже расстояние между

посёлком и свалкой значительно сократилось и в непосредственной близости от неё расположились садоводческие хозяйства, поэтому свалка превратилась в реальный источник опасности. Площадь, занятая свалкой, составляла около 10 га, из них 5 га – это основное тело свалки (см. рисунок 3.5) высотой 7-10 м. Предварительных работ по устранению возможностей дренажа токсичных веществ с дождевыми и снеговыми водами при строительстве свалки промышленных отходов проведено не было [фонд. материалы, письмо от 18.10.1991 г. № 15356-35]. Изначально она была предназначена для складирования промышленных отходов Улан-Удэнского авиационного завода, на балансе которого она состояла. На свалку вывозился широкий ассортимент промышленных отходов: бумага (макулатура), ветошь, отходы пластмасс, опилки, шламы гальванических ванн, шламы алюмината, отходы литейного производства, строительный мусор, карбидный ил, шлак и зола котельных, отработанные растворители (смазывающие охлаждающие жидкости), металл. В связи с тем, что в г. Улан-Удэ не было полигона для захоронения промышленных отходов, в падь Бабасанова начали свозить отходы и другие предприятия города, состав этих отходов точно не установлен. Известно, что периодически на свалке выжигались горючие материалы.

Решение о рекультивации свалки было принято в 1990 г. Согласно Проекту [Проект рекультивации свалки п. Загорск, 1990, ф] рекультивацию свалки промышленных отходов предлагалось провести с помощью грунтовой отсыпки. Такой вариант рекультивации был обусловлен относительно небольшой стоимостью работ и незначительным содержанием органической составляющей в составе тела свалки. При низком содержании органики снижается вероятность значительного образования биогаза (метана), и, следовательно, её самовозгорания. В качестве страховочной меры предполагалось пробурить в теле свалки 2 скважины для оттока метана. Из растений, которыми было решено засеять свалку, был выбран кострец, позволяющий формировать дернину и, тем самым, способствовать укреплению поверхности свалки и препятствовать пылению. Общая продолжительность работ должна была составлять 23 месяца. Разработанный проект рекультивации на тот момент не получил поддержки у многих экологов. Так, согласно Экспертному заключению ведущего гидрогеолога-эколога ПГО «Бурятгеология» Ф.И. Шульги [Заключение на проект рекультивации, 1990, ф] предложенный Проект временной рекультивации не мог привести к должному экологическому эффекту, поскольку маломощный слой лёгких грунтов, которыми предполагалось перекрыть свалку, «вскоре будет развеян постоянными ветрами и смыт дождями». Идеальным вариантом ликвидации свалки был бы вывоз накопленных промышленных отходов на специальный обустроенный полигон, но с учётом отсутствия такого полигона в г. Улан-Удэ, реализация этого варианта оказалась невозможна. Не плохим вариантом в созданных условиях была бы полная рекультивация свалки на месте. Для этого можно было бы прове-

сти планировку всей её территории с перемещением промышленных отходов в заранее подготовленные пониженные части, затем – засыпку их слоем слабопроницаемых грунтов, сверху суглинков и последующим высевом трав. Однако в силу экономического преимущества первого варианта, Проект рекультивации был принят к реализации в его изначальном виде.

По факту рекультивационные работы были проведены с октября по декабрь 1992 г. [Акт о приемке в эксплуатацию, 1992, ф]. Рекультивация осуществлялась планировкой поверхности с последующей засыпкой сверху слоем грунта 0,6-1,0 м. У основания свалки была организована дренажная водоотводная канава. Площадь благоустройства участка составляла 13 га. После проведения рекультивационных работ свалка была снята с баланса Улан-Удэнского авиационного завода и передана Администрации Заиграевского района Республики Бурятия.

В конце 90-х годов прошлого столетия, в связи с тяжелым экономическим положением в стране и потенциальным наличием в теле свалки цветного металла, началось ее «раскапывание». Сначала «раскапывание» осуществлялось силами местных жителей. В июне же 2000 г., с разрешения Госкомэкологии Бурятии, начались официальные работы по «раскопке» свалки, проводимые фирмой ООО «Дамаск» с целью извлечения цветного металла [Борходоева, 2001]. По проекту работы должны были вестись последовательно ленточным методом: разрывается небольшой котлован, из него вынимается ценный металл, затем он зарывается, его поверхность разравнивается и засеивается многолетними травами, далее работы повторяются. По результатам проверки в 2003 г. деятельности ООО «Дамаск» были установлены нарушения ст.9 ФЗ «Об отходах производства и потребления», Положения «О лицензировании деятельности по обращению с опасными отходами» и ст.12.27 ФЗ «Об экологической экспертизе», которые послужили основанием окончания извлечения металла из тела свалки. Вскрытое тело свалки было засыпано золошлаковыми отходами.

В настоящее время свалка представляет собой техногенную насыпь площадью около 5 га с высотой накопленных отходов около 10 м. На свалке сформирован растительный покров, представленный многолетними сорными травами: полынь, крапива, марь белая и др., встречаются кустарники (ильм, облепиха). Морфологический состав захороненных отходов установить сложно, в связи с неоднократным перекапыванием тела свалки и наличия поверхностного слоя золошлаковых отходов. На некоторых участках свалки продолжается ее несанкционированное перекапывание местными жителями с целью извлечения цветного металла.

Свалка в местности падь Бабасанова расположена в центральной части Иволгино-Удинской впадины в пределах убукунской и сотниковской свит. В геоморфологическом отношении площадка свалки находится на правом берегу р. Уда в сухом распадке, относящемся к южным отрогам хребта Улан-Бургасы. Для геологического разреза в целом характерно преобладание

алевролитов, менее – песчаников, при подчинённой роли аргиллитов и конгломератов. Песчаники слабосортированные, преимущественно среднезернистые, с прослоями мелкозернистых песчаников и алевролитов. В районе исследования широко распространены четвертичные отложения, представленные делювиально-пролювиальными и аллювиальными отложениями р. Уда. Геохимическое опробование подземных вод в районе расположения свалки в пади Бабасанова было проведено в 1992 г. в рамках работ по рекультивации свалки Лимнологическим институтом Сибирского отделения Академии наук СССР (ЛИН СО АН СССР). По периметру свалки было пробурено 6 наблюдательных скважин (см. рисунок 3.5); глубина залегания подземных вод варьировалась от 4,5-5 м до 20 м. Сотрудниками ЛИН СО АН СССР (А. Алаев, А. Добрынин) была составлена карта геохимического опробования и изучен анионный состав подземных вод в районе свалки (таблица 3.3). Превышения фоновых концентраций и норм ПДК были зафиксированы с юго-западного фланга свалки (точка № С-2). В остальных наблюдательных скважинах превышений санитарно-гигиенических норм ПДК обнаружено не было.

Таблица 3.3 – Результаты мониторинга подземных вод в районе расположения свалки в пади Бабасанова (по данным 1992 г)

№ скважины*	Глубина скважины, м	Глубина залегания грунтовых вод, м	Концентрация, мг/дм ³			
			Ион аммония	Сульфаты	Хлориды	Нитраты
ПДК, мг/дм ³ [СанПиН 1.2.3685-21]	-	-	1,5	500	350	45
С-1 (фон)	10	4,5	0,07	30,9	9,5	2,2
С-2	10	5	2	587,6	998	344,6
С-3	28	-*	-	-	-	-
С-4	12	9,4	0,08	33,1	43	45,8
С-5	23	20	1	н/д	119,7	19,9
С-6	15	12	1,5	467,5	109,3	17,2

Примечание: * местоположение скважины (см. рисунок 3.5); «-» нет данных (здесь и далее)

К настоящему времени действующими остались только две скважины: № С-1 (фоновая) и № С-5, которые находятся в пользовании физических лиц и расположены на территории дачных участков. Глубина подземных вод в них осталась на прежнем уровне: № С-1 – 4,5 м; № С-5 – 20 м.

3.2. Методы исследования

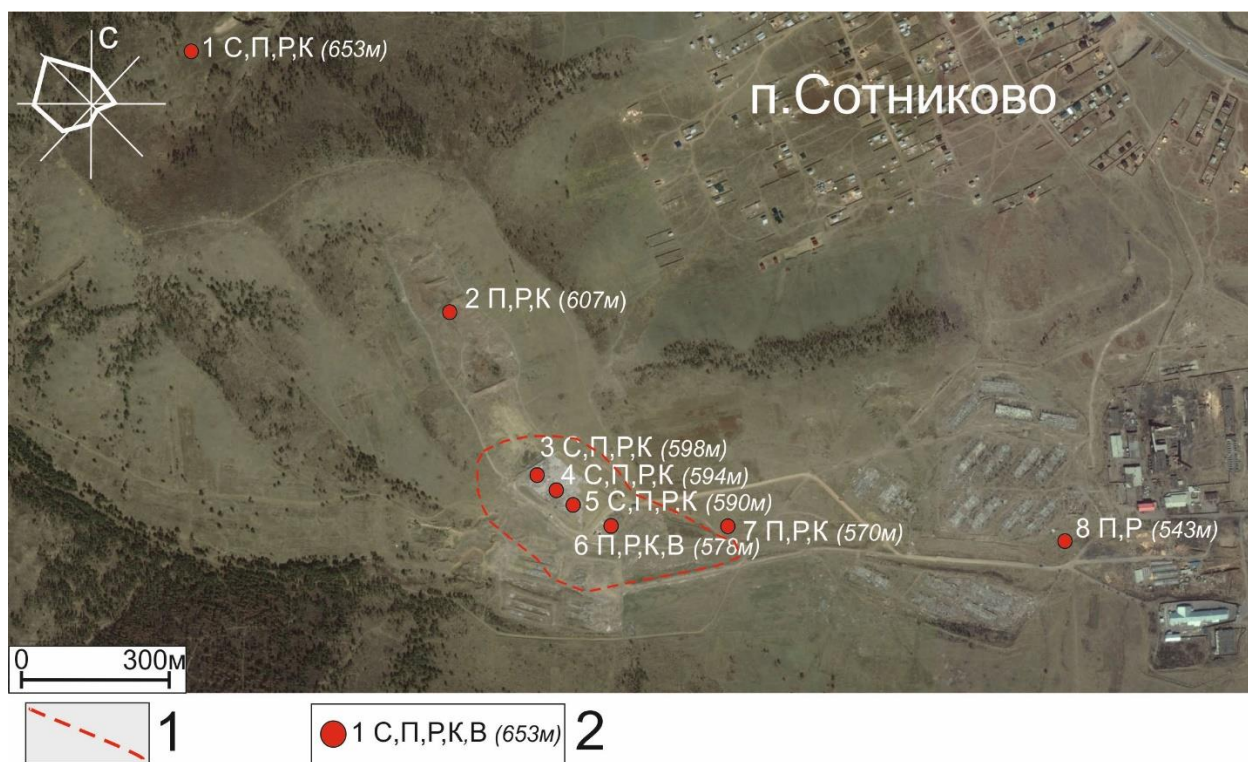
Результаты этой подглавы частично основаны на опубликованных ранее работах автора п. 126, п. 128. Изучение объектов захоронения отходов в пределах Улан-Удэнской агломерации

проводилось в течение 2021-2023 гг. В первые два года изысканий работы осуществлялись на всех четырёх выбранных объектах, в завершающий год были проведены более детальные исследования на двух объектах – на свалках п. Сотниково и п. Восточный (падь Бабасанова), являющихся типичными представителями объектов захоронения коммунальных и промышленных отходов, соответственно. Для исследований были выбраны модельные площадки непосредственно на теле свалок, за границами основного тела свалок в зоне их влияния и на условно-фоновых участках. Условно-фоновые участки выбирались индивидуально для каждой свалки. Основным критерием выбора было их расположение за границей свалки с наветренной стороны с учётом розы ветров, отсутствие вблизи антропогенных источников загрязнения окружающей среды, схожесть по геоэкологическим условиям с участком захоронения отходов.

В ходе исследований были изучены: почвы/грунты, растения (надземная и подземная части), снеговой покров, конденсат, грунтовые воды (приложение А).

Схемы комплексного опробования на объектах размещения отходов

На свалке п. Сотниково за весь период исследований по трансекте было отобрано проб: почв/грунтов – 13, подземных вод – 4, конденсата – 7, растений – 19, снега – 5 (рисунок 3.6).



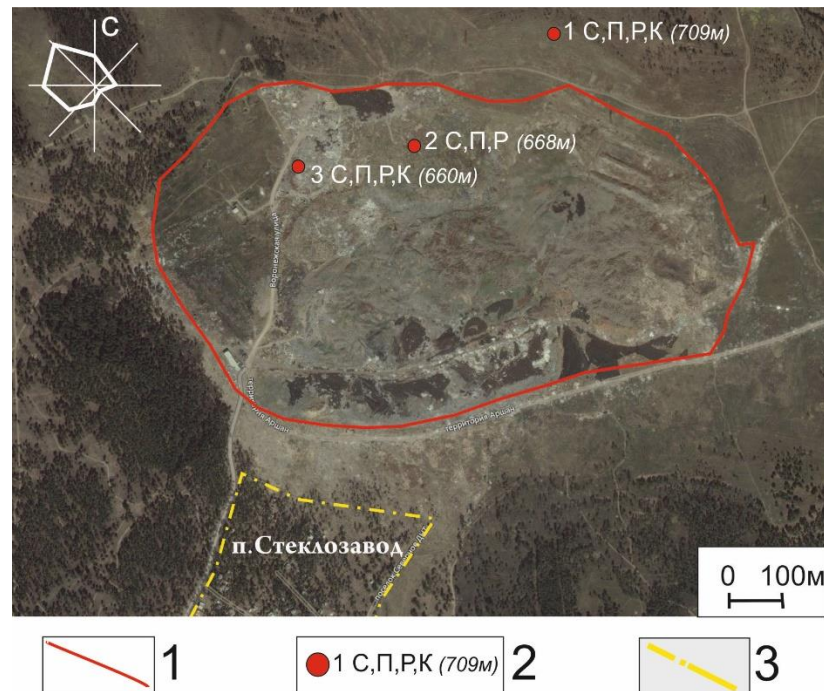
1 – граница захлавленной территории;

2 – условный шифр точки отбора проб: 1 – номер точки отбора (см. приложение А); исследуемый компонент (С – снег, П – почва/грунт, Р – растения, К – конденсат, В – подземные воды); (653м) – высота над уровнем моря, м

Рисунок 3.6 – Схема опробования на свалке п. Сотниково

На свалке п. Стеклозавод исследования были проведены в северо-западной её части. Выбор данной области связан с тем, что центральная и юго-восточная часть свалки продолжают использоваться в зимний период для складирования снега от уборки городской территории. Следовательно, талые воды в результате таяния снега на этих участках могут оказывать влияние на процессы, протекающие в теле свалки, изучение таковых процессов является задачей другого исследования. По этой же причине было принято решение не оценивать зону влияния свалки п. Стеклозавод.

В целом на свалке п. Стеклозавод было отобрано проб: почв/грунтов – 4, конденсата – 2, растений – 4, снега – 5 (рисунок 3.7).



- 1 – условная граница свалки;
 2 – условный шифр точки отбора проб: 1 – номер точки отбора (см. приложение А); исследуемый компонент (С – снег, П – почва/грунт, Р – растения, К – конденсат); (709м) – высота над уровнем моря, м
 3 – граница ближайшего жилого массива;
 4 – территория складирования снега в зимний период

Рисунок 3.7 – Схема опробования на свалке п. Стеклозавод

При отборе проб на свалке п. Площадка основной сложностью был выбор условно-фоновый участка, что обусловлено расположением вокруг свалки промышленных объектов машиностроительного комплекса и котельных, вносящих значительный вклад в загрязнение окружающей среды. В результате было решено принять условно-фоновый участок с западной стороны от п. Площадка на расстоянии около 100 м от границы свалки.

В целом на свалке п. Площадка было отобрано проб: почв/грунтов – 3, подземных вод – 2, конденсата – 2, растений – 4, снега – 4 (рисунок 3.8).



1 – условная граница свалки;

2 – условный шифр точки отбора проб: 1 – номер точки отбора (см.приложение А); исследуемый компонент (С – снег, П – почва/грунт, Р – растения, К – конденсат, В – подземные воды); (513м) – высота над уровнем моря, м

Рисунок 3.8 – Схема опробования на свалке п. Площадка

На свалке в пади Бабасанова было отобрано проб: почв/грунтов – 74 (из них 49 – для оценки фитотоксичности почвы дополнительно по профилям, расположенным по основному телу свалки), подземных вод – 5, конденсата – 9, растений – 26, снега – 8 (рисунок 3.9). Для оценки уровня радиоактивности почв/грунтов в районе расположения свалки падь Бабасанова были проведены замеры интегральной радиоактивности, содержания урана (U), тория (Th) и калия (K) по сетке 100 м × 40 м, с захватом основного тела свалки и зоны её влияния (от т.1 до т.9), количество точек составило 132 ед.



- 1 – граница захламли́нной территории;
 2 – условный шифр точки отбора проб: 1 – номер точки отбора (см. приложение А); 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

Рисунок 3.9 – Схема опробования на свалке в пади Бабасанова

Отбор проб почв/грунтов, пробоподготовка, методы исследования

Почвенно-картографическое изыскание природно-техногенных ландшафтов в районах расположения объектов захоронения было проведено в июле 2021 г. Описание почв проводилось с использованием классификации 1977 г [Классификация, 1977] с дополнениями по классификации 2004 г [Шишов, 2004].

Отбор проб почв/грунтов проводился в конце летнего периода (август) каждого года исследований путем отбора объединённой пробы методом конверта в соответствии с ГОСТ

17.4.3.01-2017, ГОСТ 17.4.4.02-2017. Пробы отбирались с помощью почвенного бура, масса одной пробы составляла около 1 кг. Пробы отбирались из почвенных горизонтов с таким расчётом, чтобы в каждом случае проба представляла собой часть почвы, типичной для генетического горизонта данного типа почвы. Таким образом, на условно-фоновых участках отбор проб был проведен как в верхних горизонтах (гумусовый горизонт А1, до глубины 0-20 см), так и в нижележащих (горизонты В и ВС до глубин 20-40 см). На техногенно измененных участках для анализа отбирался только поверхностный слой (0-20 см). С целью изучения химического состава грунтов и оценки уровня залегания подземных вод на свалке в местности падь Бабасанова дополнительно были проведены буровые работы. Буровые работы были выполнены с привлечением сотрудников Инженерного центра Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН. Бурение проводилось буровой установкой УРБ-2а2 самоходного типа на шасси автомобиля Камаз колонковым способом диаметром 110 мм всухую в соответствии с СП 47.13330.2016 (СНиП 11-02-96). В процессе проведения буровых работ было пробурено две разведывательные скважины: в т.7 и т.8 (см. рисунок 3.9) глубиной 4,5 и 3,0 м, соответственно. Отбор проб грунта для последующего химического анализа проводился через каждые 1 м бурения.

Отобранные пробы помещались в промаркированные хлопчатобумажные мешки. В дальнейшем пробы высушивались в хорошо проветриваемом помещении в течение 3-5 суток, просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм, истирались в фарфоровой ступке и доводились до пудроподобного состояния в агатовой ступке в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. При подготовке образцов почвы вся посуда предварительно обрабатывалась 95%-ным раствором этилового спирта (ГОСТ 32036-2013) для предотвращения химического загрязнения субстрата.

Для физико-химической характеристики почв/грунтов в образцах определялись: рН водной вытяжки (потенциометрическим методом), содержание гумуса (по Тюрину в модификации Никитина), обменные кальций и магний (трилометрическим методом, после вытеснения 1 н NaCl), гранулометрический состав (методом растирания с раствором пиррофосфата натрия) [Аринушкина, 1970; Соколов, 1975].

Валовое содержание химических элементов в почве определялось рентгенофлуоресцентным методом на кристалл-дифракционном спектрометре ARL Perform'X 4200 (Швейцария) в ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ). Порошковые пробы, измельченные до 200 меш (70 мкм), утрамбовывались в кювету с дном из майларовой пленки толщиной 5 мкм, анализ проводился в среде гелия [Жалсараев и др., 2010]. Полученные спектры обрабатывались в программе OXSAS (Швейцария) при доверительной вероятности P=95%.

Для интерпретации данных на основании соотнесения содержания химических элементов в почвах/грунтах на свалках и условно-фоновых участках, были рассчитаны коэффициенты концентрации (K_k) по формуле 3.1 и суммарный индекс загрязнения почв/грунтов ($Z_c(n)$) по формуле 3.2:

$$K_k = C / C_{\phi}, \quad (3.1)$$

где C – содержание химического элемента в исследуемой пробе, мг/кг; C_{ϕ} – содержание химического элемента в фоновой пробе, мг/кг.

$$Z_c(n) = \sum(K_{ki} + \dots + K_{kn}) - (n - 1) \quad (3.2)$$

где K_{ki} – коэффициент концентрации i -го вещества в исследуемой пробе; K_{kn} – коэффициент концентрации n -го вещества в исследуемой пробе; n – число определяемых суммирующих веществ.

Категория химического загрязнения почв/грунтов устанавливалась в зависимости от величины суммарного индекса загрязнения: при $Z_c(n) < 16$ – допустимая; при $Z_c(n) = 16-32$ – умеренно-опасная; при $Z_c(n) = 32-128$ – опасная; при $Z_c(n) > 128$ – чрезвычайно опасная [Методические указания, 1999].

Отбор проб почв/грунтов для оценки фитотоксичности на свалке в местности падь Бабасанова был проведен в июне 2023 г. по профилям с шагом сетки 30 м × 30 м, всего было проложено семь профилей (см. рисунок 3.9). По каждому профилю была отобрана смешанная проба в суммарном количестве 3-5 кг. Пробы почвы отбирались в полиэтиленовые промаркированные пакеты в соответствии с ГОСТ Р 53123-2008, ГОСТ 17.4.4.02-84. Контрольная проба почвы/грунта была отобрана в условно-фоновой точке пади Бабасанова (см. рисунок 3.9, т. 1).

Для оценки уровня радиоактивности почв/грунтов в районе расположения свалки в местности падь Бабасанова интегральную радиоактивность, содержание урана (U), тория (Th) и калия (K) на свалочном теле определяли с помощью портативного гамма-спектрометра GS-512. Полевая площадная гамма спектрометрия была проведена по сетке 100 м × 40 м, количество точек составило 132 ед. Измерения проводили по профилям, заложенным в районе размещения основного тела свалки и за его пределами. Площадь территории, охваченной измерениями, составила около 40 га (400 м × 1000 м).

Отбор проб подземных вод, пробоподготовка, методы исследования

Отбор проб подземных вод проводился с мая по ноябрь 2023 г в действующих наблюдательных скважинах на свалках (в случае их наличия) и в скважинах жилого массива, расположенного в зоне влияния объектов захоронения отходов. Географические координаты мест расположения скважин представлены в приложении А.

На свалке п. Сотниково в качестве фоновой скважины была выбрана скважина, глубиной 100 м, расположенная в жилом массиве поселка на расстоянии около 1 км от границ свалки выше по уровню рельефа местности. Наблюдательная скважина на свалке п. Сотниково (см. рисунок 3.6, т. 6) расположена ниже по рельефу на расстоянии около 30 м от границы свалки, глубина скважины составляет 50 м, уровень подземных вод зафиксирован на глубине 17 м. В наблюдательной скважине № 2 (см. рисунок 3.6, т. 7) воды обнаружены не было.

На свалке п. Стеклозавод пробы подземных вод не отбирались в связи с отсутствием наблюдательных скважин на свалке и в ближайшем жилом массиве.

На свалке п. Площадка для отбора проб подземных вод были использованы наблюдательные скважины, эксплуатируемые АО «Улан-Удэнский авиационный завод»: наблюдательная скважина № 1 глубиной 24,94 м (см. рисунок 3.8, т. 2), наблюдательная скважина № 2 глубиной 25,45 м (см. рисунок 3.8, т. 5).

Для мониторинга подземных вод в зоне влияния свалки в местности падь Бабасанова использовались скважины населения: фоновая скважина глубиной 4 м (см. рисунок 3.9, т. 1); три наблюдательные скважины глубиной 42 м, 40 м и 20 м (см. рисунок 3.9, т. 9, т. 10 и т. 11, соответственно).

Анализ макрокомпонентного состава подземных вод был проведён по шестнадцати показателям: водородный показатель (рН), кремниевая кислота (H_2SiO_3), минерализация, перманганатная окисляемость (ПМО), ионы аммония (NH_4^+), калия (K^+), натрия (Na^+), магния (Mg^{2+}), кальция (Ca^{2+}), железа (Fe^{3+}), гидрокарбонаты (HCO_3^-), хлориды (Cl^-), нитриты (NO_2^-), сульфаты (SO_4^{2-}), нитраты (NO_3^-), фториды (F^-) в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) с использованием стандартизированных в Российской Федерации методик для природных вод: ПНД 14.1:2:4.262-10; ПНД Ф 14.1:2:4.3-95; ПНД Ф 14.1:2:4.4-95; ПНД Ф 14.1:2:4.50-96; ПНД Ф 14.1:2:3.95-97; ПНД Ф 14.1:2:3.96-97; ПНД Ф 14.2:3.99-97; ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97; ПНД Ф 14.1:2:4.154-99; ПНД Ф 14.1:2.159-2000; ПНД Ф 14.1:2:3:4.179-2002; РД 52.24.433-2005; ПНД Ф 14.1:2:3.98-97.

Для определения содержания ионов железа (Fe^{3+}), нитратной и нитритной групп (NO_2^- , NO_3^-) пробы предварительно консервировались азотной кислотой (0,5 мл / 100 мл пробы) и хлороформом (0,15 мл / 100 мл пробы), соответственно.

Анализ микрокомпонентного состава подземных вод был проведен по 72 элементам методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на масс-спектрометре «Agilent 7500 се» (США) в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск). Для проведения анализа исследуемая вода отбиралась в стерильные медицинские шприцы объёмом 2 мл. Отобранные пробы фильтровались через одноразовые шприцевые мембранные фильтрующие

насадки Minisant 16555-K (Германия). Мембрана указанных насадок выполнена из ацетата целлюлозы, размер пор мембраны 0,45 мкм. Фильтрат помещался в предварительно взвешенные пробирки Эппендорфа объемом 2 мл. Фильтрат фиксировали дважды очищенным с помощью суббуйлинговой перегонки 70 % раствором азотной кислоты в количестве 40 мкг / 2 мл пробы. Методика проведения эксперимента подробно описана в опубликованных работах [Чебыкин и др., 2012, Плюснин и др., 2023]. Система ввода проб: микропоточный полипропиленовый распылитель (200 мкл/мин, режим подачи растворов – самораспыление), полипропиленовая распылительная камера, кварцевая горелка с системой ShieldTorch. Измерения проводились в режиме «горячей плазмы» (мощность генератора плазмы 1580 Вт), в сканирующем режиме (3 канала на массу, 0,05 с на канал, общее время сканирования масс-спектра – 55 с). Промывка между пробами – 50 с, между пробами и калибровочным стандартным раствором – 200 с. Для калибровки масс-спектрометра использовались многоэлементные стандартные растворы ICP-MS-68A-A и ICP-MS-68A-B (HIGH-PURITY STANDARDS, Charleston, USA), образец байкальской бутилированной воды (для Na, Mg, Si, S, Cl, K, Ca), а также растворы катионов (Na, Mg, K, Ca, Fe, Hg) и анионов (Si, P, S, Cl, Br, I), приготовленные смешением одноэлементных ИСП-МС стандартных растворов компании Inorganic Ventures (США): Na (Cat. No. MSNA-100PPM), Mg (Cat. No. MSMG-100PPM), K (Cat. No. MSK-100PPM), Ca (Cat. No. CGCA1), Fe (Cat. No. MSFE-100ppm), Hg (Cat. No. MSHGN-10PPM), Si (Cat. No. MSSI-100PPM), P (Cat. No. MSP-100ppm), S (Cat. No. CGS1), Cl (Cat. No. CGICCL1), Br (Cat. No. CGICBR1), I (Cat. No. CGICII). Металлы и Si в стандартных растворах присутствовали в азотнокислой среде, S и P в форме серной ортофосфорной кислот соответственно, галогениды – в водном растворе аммонийных солей.

Для оценки качества подземных вод был рассчитан индекс загрязнения воды (ИЗВ), который активно применяется при гидрохимическом мониторинге поверхностных вод суши [Сибатуллина, 2009, Харлямов и др., 2022] по формуле 3.3:

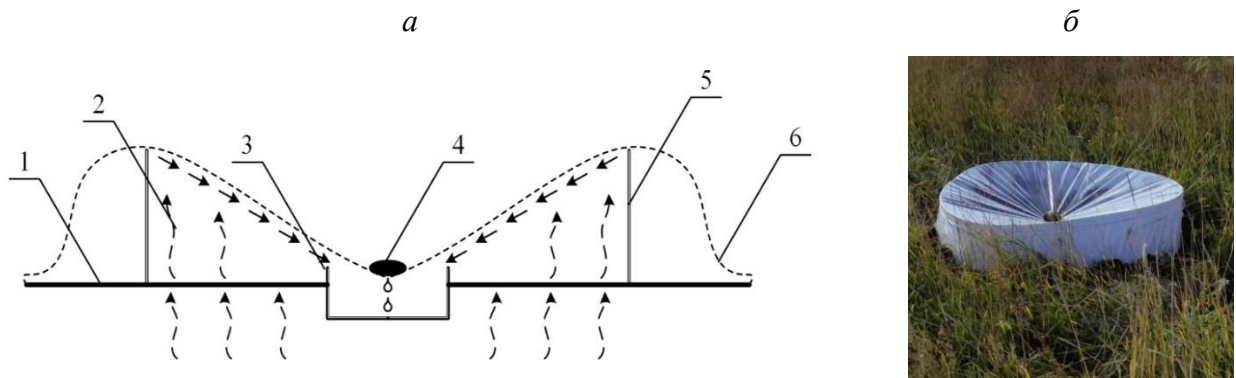
$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \quad (3.3)$$

где n – число показателей, используемых для расчета индекса (для пресных водоемов n = 6); C_i – концентрация i-го элемента в исследуемой воде, мг/дм³; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i-го элемента, мг/дм³ [Приказ Минсельхоза № 552 от 13.12.2016 г.].

В зависимости от величины ИЗВ выделяют 7 классов качества воды: ИЗВ < 0,3 – 1 класс (очень чистая); ИЗВ = 0,3-1,0 – 2 класс (чистая); ИЗВ = 1,0-2,5 – 3 класс (умеренно загрязненная); ИЗВ = 2,5-4,0 – 4 класс (загрязненная); ИЗВ = 4,0-6,0 – 5 класс (грязная); ИЗВ = 6,0-10,0 – 6 класс (очень грязная); ИЗВ > 10,0 – 7 класс (чрезвычайно грязная) [Временные методические указания, 1986].

Отбор проб конденсата, пробоподготовка, методы исследования

Пробы конденсата были отобраны одновременно с отбором почвенных образцов (начало-конец августа 2022 г) с использованием мобильной установки по сбору конденсата, разработанной сотрудниками лаборатории гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН (Плюснин А.М., Залуцкий А.В.). Принцип работы установки [Чередова и др., 2023] основан на солнечной дистилляции (рисунок 3.10). Мобильная установка, состоящая из ПВХ-цилиндра (диаметром 1 м² и высотой 0,5 м), устанавливалась на поверхности почвы/грунта. В центре окружности ставилась стерильная емкость для сбора конденсата. Цилиндр закрывался полиэтиленовой пленкой, в центр которой помещался груз, создающий ребра жесткости. Края пленки выводились за края цилиндра и закреплялись для предотвращения выхода испаряющейся влаги. По мере нагревания поверхности от солнечной энергии, объем установки насыщался испарениями почвенной влаги, которые при наступлении точки росы конденсировались на внутренней стороне пленки и стекали по ребрам жесткости в емкость.



1 – поверхность почвы; 2 – испаряющаяся влага (конденсат); 3 – емкость для сбора конденсата; 4 – груз; 5 – стенки цилиндра; 6 – полиэтиленовая пленка

Рисунок 3.10 – Схема (а) и общий вид (б) мобильной установки для сбора конденсата

В силу незначительного объема конденсата (10-60 см³) для изучения его макрокомпонентного состава был использован метод капиллярного электрофореза. Анализ был проведен в лаборатории ЦКП «Прогресс» ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (г. Улан-Удэ) на системе Капель-105М (г. Санкт-Петербург). Метод капиллярного электрофореза основан на электрокинетических явлениях растворов в условиях высокого напряжения (разделение заряженных компонентов сложной смеси в кварцевом капилляре) и предназначен для качественных и количественных исследований различных объектов. Данный метод позволил получить сведения о содержании в пробе основных анионов: Cl⁻, SO₄²⁻,

NO_3^- , NO_2^- , F^- и катионов: NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} . В качестве источника света на приборе была использована дейтериевая лампа, в качестве диспергирующего элемента – дифракционный монохроматор со спектральным диапазоном работы 190-380 нм и шириной спектрального интервала 20 нм. Длина кварцевого капилляра 30 см, внутренний диаметр 50 мкм. Ввод пробы гидродинамический. Охлаждение капилляра жидкостное.

Анализ микрокомпонентного состава конденсата был проведен по 72 элементам методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) на масс-спектрометре «Agilent 7500 се» (США) в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск). Пробоподготовка и методика проведения эксперимента аналогичны анализу подземных вод и описаны выше.

Для сравнительной оценки конденсата, отобранного на разных участках исследования, рассчитывались коэффициенты концентрации (K_k) химических элементов по аналогии с расчетом коэффициента концентрации для почвы/грунтов по формуле 3.1.

Также для интерпретации данных был использован комплексный индекс загрязнения конденсата ($Z_c(k)$), рассчитанный по аналогии с индексом загрязнения воды (формула 3.3). Расчет $Z_c(k)$ был проведен по формуле 3.4. При этом норма ПДК была заменена на фоновую концентрацию в связи с тем, что нормативы ПДК для испаряющейся влаги не установлены.

$$Z_c(k) = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\phi i}} \right) / n \quad (3.4)$$

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.

Отбор проб снега, пробоподготовка, методы исследования

Отбор проб снега осуществлялся в период максимального снегосодержания в конце февраля 2021 г. и 2022 г. Отбор проб проводили методом шурфа на всю мощность снегового покрова за исключением 2-5 см слоя над почвой/грунтом с площади 0,5 м² [Методические рекомендации, 1990]. На каждом исследуемом участке были отобраны смешанные пробы снега, охватывающие не менее 5-ти точек отбора по аналогии с «методом конверта». Пробы отбирались в промаркированные полиэтиленовые мешки. Таяние снега осуществлялось при комнатной температуре в течение суток. После полного таяния весь объем полученной снеговой воды пропускался через фильтрующую воронку Бюхнера с фильтром «синяя лента», предварительно взвешенным и доведенным до постоянной массы.

Дальнейшие исследования проводились отдельно для твердого осадка и для снеговой воды.

Твердый осадок высушивался и доводился до постоянной массы при температуре 100 °С.

Пылевая нагрузка на рассматриваемых территориях определялась гравиметрическим методом [Методические рекомендации, 1990]. Расчёт пылевой нагрузки (P_n , мг/м²×сут) был проведен по формуле (3.5):

$$P_n = P / (S \times T), \quad (3.5)$$

где P – масса пыли в пробе, мг; S – площадь шурфа, м²; T – время от начала снегостава, сут (для г. Улан-Удэ датой начала снегостава, по данным Бурятского ЦГМС, принята 1 октября).

В зависимости от величины P_n выделяют следующие уровни загрязнения снегового покрова: 100-250 мг/м²×сут – низкий; 251-450 мг/м²×сут – средний; 451-850 мг/м²×сут – высокий; > 850 мг/м²×сут – очень высокий [Методические рекомендации, 1990]

Кроме пылевой нагрузки для каждого объекта размещения отходов был рассчитан коэффициент концентрации пыли (K_k) по формуле (3.6):

$$K_k = C / C_{\phi}, \quad (3.6)$$

где C – содержание пыли в исследуемой пробе, мг; C_{ϕ} – содержание пыли на условно-фоновом участке, мг.

Анализ морфологического и минерального состава нерастворимого осадка проводился на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP) в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Увеличение микроскопа: от 36 до 300000 крат, размер зонда менее 1 мкм. Пробоподготовка представляла собой нанесение нерастворимого осадка на подготовленную основу предметного стекла, толщина наносимого слоя около 1 мкм.

Гранулометрический анализ нерастворимого осадка снегового покрова проводился на лазерном анализаторе размеров частиц SALD-7500 (Shimadzu) в ЦКП «Научные приборы» Бурятского государственного университета имени Доржи Банзарова (г. Улан-Удэ). Диапазон измерений прибора варьируется от 7 нм до 800 мкм. Диапазон измеряемых концентраций – от 0,1 ppm до 20%. В основе метода лазерной дифракции [Румянцев, 2013] лежит измерение интенсивности рассеянного света при прохождении луча лазера через образец.

Анализ макрокомпонентного состава снеговой воды был проведен по 16-ти показателям по аналогии с анализом подземных вод в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) с использованием стандартизированных в Российской Федерации методик для природных вод, перечисленных выше.

Анализ микрокомпонентного состава снеговой воды был проведен по 72 элементам методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на масс-спектрометре «Agilent 7500 се» (США) в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск). Пробоподготовка и методика проведения эксперимента аналогичны анализу подземных вод и описаны выше.

Отбор проб растений, пробоподготовка, методы исследования

Пробы растительности отбирались в местах отбора проб почв/грунтов в фазу окончания цветения (август). Основным критерием при выборе растений являлось их широкое распространение в регионе исследований [Корсун, 2009] и наличие на всех изучаемых участках. В первый год (2021 г) для исследований было выбрано две группы растений – травянистые: пырей ползучий (*Elytrigia repens*), марь белая (*Chenopodium album*), крапива коноплевая (*Urtica cannabina*), полынь пижмолистная (*Artemisia tanacetifolia*), полынь веничная (*Artemisia scoparia*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*) и древесные: ильм приземистый (*Ulmus pumila*). Дополнительно на теле свалки в местности падь Бабасанова был найден и исследован гриб шампиньон (*Agaricus*). В 2021 г. в рекогносцировочных целях были отобраны только надземные части вышеперечисленных растений. На следующий год (2022 г) исследований, опираясь на данные 2021 г., для мониторинга миграции химических элементов был выбран один вид растений – полынь веничная (*Artemisia scoparia*). Для указанного тест-объекта были отобраны надземные и подземные (корни) части растения.

Отобранные пробы растительного материала тщательно промывались проточной и дистиллированной водой, высушивались в хорошо проветриваемом помещении в течении 5-10 суток, измельчались до размера 0,1-0,5 мм на ножевой мельнице периодического действия марки Bosch МКМ 6000 (Словения).

Химический анализ образцов растительного материала был проведен в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Методика проведения эксперимента подробно описана в опубликованных работах [Мирович и др., 2021]. Измельченный исследуемый материал с размером частиц не более 0,5 мм помещали в закручивающиеся полипропиленовые пробирки. Масса навески составляла 0,03 г. К навеске добавляли концентрированную азотную кислоту (72%) в количестве 0,75 мл. Предварительно азотная кислота была очищена с помощью суббойлинговой перегонки. «Мокрое озоление» осуществляли в ультразвуковой ванне (УЗ-ванне) в течение 30 минут при температуре 80-100°C. После этого в пробирки приливали 0,3 мл перекиси водорода 30% и продолжали озоление при тех же условиях. Через 30 минут к образцам добавляли воду очищенную до объема 15 мл, пробирки помещали в УЗ-ванну на 30 мин при аналогичной температуре. Далее образцы охлаждали, выдерживали в течение 12 ч при комнатной температуре и взвешивали на аналитических

весах марки «Mettler Toledo AG104» (Швейцария). Дальнейшую пробоподготовку осуществляли на приборе «Mini Spin» (Германия) при следующих условиях: время центрифугирования – 10 минут, число оборотов – 13400 об/мин. Затем надосадочную жидкость (1,8 мл) помещали в другие пробирки и добавляли внутренний стандарт в виде рабочего раствора индия (по 40 мкл). Концентрация внутреннего стандарта в измеряемых растворах составила 10 ppb (мкг/л). Также поступали при приготовлении проб, не содержащих аналита. Исследование полученных растворов проводили на масс-спектрометре «Agilent 7500 се» (США). Ввод проб осуществляли с помощью концентрического кварцевого распылителя при следующих параметрах: скорость подачи – 400 мкл/мин, режим подачи – самораспыление. Для калибровки использовали стандартные растворы ICP-MS-68A-A (США), ICP-MS-68A-B (США), образцы бутилированной байкальской воды, растворы катионов (Na, Mg, K, Ca, Fe, Hg) и анионов (Si, P, S, Cl, Br, I), образованных путем смешения одноэлементных ICP-MS стандартных растворов производства «Inorganic Ventures» (США). Ошибки измерения оценивали с помощью показателя зависимости коэффициента вариации (RSD, %) от величины аналитического сигнала (N, имп/с), установленного экспериментально: $RSD\% = 125,71 \times N^{-0,33103}$, где N=20-20 000 имп/с.

Методы оценки токсичности изучаемых сред

Для изучения влияния изучаемых объектов размещения отходов на контактирующие среды, были использованы методы биотестирования. Данные методы позволяют оценить реакцию живых организмов на исследуемую среду и судить о её качестве для биоты [Гончарова и др., 2019; Чередова, 2021]. Экологическая токсичность была определена с помощью методов фитотоксичности для снеговой воды, почв/грунтов со свалок. При этом токсичность снеговой воды определялась на всех изучаемых объектах размещения отходов. Токсичность почв/грунтов была исследована только на свалке промышленных отходов в местности падь Бабасанова.

Фитотоксичность снеговой воды определялась по методике, основанной на прорастивании семян растений на фильтровальной бумаге [Дорошкевич, 2016]. В качестве тест-объектов были использованы параллельно две культуры растений: однодольное – овес посевной (*Avena sativa L.*) и двудольное – редис «Заря» (*Raphanus sativus*). Данные культуры были выбраны в связи с их высокой скоростью прорастания и подходящим для этих растений рН снеговой воды (от 5,0 до 7,5). Для проведения эксперимента 20 семян помещались на фильтровальную бумагу в пластиковые контейнеры и заливались исследуемой пробой воды на величину $\frac{3}{4}$ от высоты семени. В качестве контроля была использована дистиллированная вода. Прорастание семян проводилось в течение 5 суток для культуры редис «Заря» (*Raphanus sativus*) и в течение 7 суток для культуры овес посевной (*Avena sativa L.*) при температуре 22-24⁰С. Для исключения пересыхания семян в

контейнеры с культурами ежедневно добавлялась исследуемая вода до доведения воды на $\frac{3}{4}$ от высоты семян.

В качестве тест-объектов для оценки фитотоксичности почв/грунтов была использована культура овес посевной (*Avena sativa L.*). Данная культура рекомендуется к использованию в качестве тест-объекта для оценки фитотоксичности почв согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Семена тест-культур тщательно отбирались перед посевом на предмет их порчи и схожего размера. Иной специальной обработки (стратификация, скарификация и др.) семян перед проведением эксперимента не проводилось. Исследуемая почва/грунт разрыхлялась, просеивалась через сито диаметром 3-5 мм для исключения инородных механических включений. Просеянная почва помещалась в пластиковый контейнер, масса навески составляла 200 г. Контролем служили образцы с условно-фонового участка. В каждый контейнер помещались семена тест-культур в количестве 10 шт. Проращивание семян проводилось при температуре 22–24 °С и влажности 79-84% в течение 7 суток.

Количество проросших семян фиксировалось ежедневно. По истечении времени культивирования, измерялись длина проростков: надземной и подземной частей, а также вес растений. Взвешивание осуществлялось на аналитических весах марки «Сартогосм» SE 124-С (Россия). Степень фитотоксичности рассчитывалась по изменению длины корешков и проростков тест-культур, выращенных на исследуемых пробах по отношению к контролю, выраженную в процентах (фитотоксичный эффект), а также по энергии прорастания [Доброхотов, 1961; Иванныкина, 2010]. Энергия прорастания (В) определялась по формуле (3.7):

$$B = a/b \times 100, \% \quad (3.7)$$

где: a – количество проросших семян, шт; b – общее количество семян для опыта, шт.

Фитотоксичный эффект (ФЭ) определялся по формуле (3.8):

$$\text{ФЭ} = (D_k - D_{\text{пр}}) / D_k \times 100, \% \quad (3.8)$$

где D_k – средняя длина проростка в контрольной пробе, мм; $D_{\text{пр}}$ – средняя длина проростка в опытной пробе, мм.

По результатам расчета ФЭ рассчитывался индекс токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) для каждого тест-объекта по формуле (3.9):

$$\text{ИТФ} = (T\text{Ф}_0) / (T\text{Ф}_k), \quad (3.9)$$

где $T\text{Ф}_0$ – значение регистрируемой тест-функции в опыте; $T\text{Ф}_k$ – значение регистрируемой тест-функции в контроле.

Для оценки токсичности исследуемой пробы была использована шкала токсичности по величине ИТФ: при ИТФ > 1.10 – VI класс токсичности (стимуляция); ИТФ = 0,91-1,10 – V класс токсичности (норма); ИТФ = 0,71-0,90 – IV класс токсичности (низкая токсичность); ИТФ = 0,50-0,70 – III класс токсичности (средняя токсичность); ИТФ < 0,50 – II класс токсичности (высокая токсичность); при гибели тест-объекта – I класс токсичности [Волкова, 2002].

4.ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Термин «геоэкологическая оценка» в настоящее время не имеет чёткого определения [Дмитриев, 2016] и не конкретизировано его отличие от терминов «экологическая оценка» или «эколого-географическая оценка». Он подразумевает под собой комплексную оценку состояния природных и природно-антропогенных систем с использованием междисциплинарного подхода, ГИС-технологий и разработкой интегральных показателей качества окружающей среды [Алимов, 1999; Дмитриев, 2010; Осипов, 2022; Lomova, 2023]. При геоэкологических исследованиях изучению подлежат, по возможности, все элементы окружающей среды, контактирующие с источником негативного воздействия, поэтому для проведения такой оценки на закрытых объектах размещения отходов в пределах Улан-Удэнской агломерации были проанализированы химический состав почв/грунтов, подземных вод и влаги, испаряющейся с поверхности полигонов, минеральный и химический состав снежного покрова, видовое разнообразие и химический состав наземной и подземной частей растений, произрастающих на свалках.

4.1 Химический состав почв/грунтов

На техногенно-измененных ландшафтах в районе расположения объектов исследования выделено 2 типа почв по классификации 1977 г [Егоров, 1977]: дерновая лесная и нарушенные земли. Дерновые лесные почвы характерны для всех условно-фоновых участков, за исключением фонового участка свалки п.Площадка, на котором были выявлены нарушенные земли. Нарушенные земли наблюдались на теле всех свалок и были представлены, в соответствии с классификацией 2004 г, артиурбистратами, артнииндустратами, токсииндустратами, урбиквазизёмами. Техногенные поверхностные образования (нарушенные земли) не являются почвами, их не классифицировали в эколого-генетической классификации 1977 г. Классификация 2004 г. является вариантом, приближенным к Международной классификации почв, опирающейся на субстантивно-генетический принцип [Федоров,2014], в связи с чем в ней выделены таксономические единицы нарушенных земель более низкого уровня. Морфологическое описание почв с фотоматериалами представлены в приложении В.

Для дерновых лесных почв характерен следующий морфологический профиль: Адер-А1-В-С. Гумусово-аккумулятивный горизонт данного типа почв имеет мощность 12-28 см, характеризуется светло серой окраской с комковатой структурой. До глубины 48-57 см переходный горизонт светло коричневого цвета с серым оттенком или светло серого цвета коричневым оттен-

ком. Почвообразующая порода светло коричневого цвета. По профилю часто наблюдаются включения в виде щебня и дресвы. Реакция почв – щелочная по всему профилю. Содержание гумуса в гумусовом горизонте очень низкое и низкое, находится в пределах 1,79-2,64 %. С глубиной уменьшается постепенно. Поглощающий комплекс насыщен основаниями, степень насыщенности – низкая. В составе поглощённых оснований преобладает кальций.

Нарушенные земли представляют собой местами полностью перемешанные, местами пересыпанные каменисто-щебнистым материалом почвенные слои, расположенные, в свою очередь, в разнообразной последовательности. Артиурбистраты представлены твердыми коммунальными отходами; артнииндустраты – нетоксичными материалами отвалов промышленной переработки естественных материалов: шлаки, зола и др; токсииндустраты – материалами шламо- и хвостохранилищ токсичных отходов промышленных предприятий; урбиквазизёмы представляют собой слой, состоящий из минерального материала с примесью органического вещества и специфических антропогенных включений в виде остатков строительных материалов и пр. Реакция насыпных грунтов – щелочная. 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. В составе поглощённых оснований преобладает кальций (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Физико-химические свойства почв/грунтов

Горизонт (глубина, см)	<0,01мм, %	рНводн	Сорг, %	Обменные основания, мг-экв/100г почвы		
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма
п. Сотниково						
Условно-фоновый участок (т.1), дерновая лесная почва						
A1 (1-28)	17,7	7,62	1,24	30,8	6,7	37,5
B (28-57)	18,1	7,74	0,91	31,6	7,0	38,6
C (57-80)	18,5	7,98	0,42	28,1	6,4	34,5
Тело свалки (т.3-5), нарушенные земли (артиурбистраты)						
~ (0-70)	19,4	7,92	1,10	28,1	5,7	33,8
п. Стеклозавод						
Условно-фоновый участок (т.1), дерновая лесная почва						
A1 (1-22)	18,7	7,80	1,04	31,8	6,4	38,2
A1B (22-37)	19,2	7,99	1,00	31,1	6,9	38,0
B (37-50)	19,0	8,10	0,72	29,0	6,4	35,4
Тело свалки (т.2-3), нарушенные земли (урбиквазизёмы)						
I (0-14)	19,8	7,90	1,32	35,8	7,7	43,5
II (14-28)	22,1	8,10	0,94	36,6	7,4	44,0
п. Площадка						
Условно-фоновый участок (т.1), нарушенные земли (урбиквазизёмы)						
~ (0-10)	16,4	7,92	1,33	35,9	7,7	43,6
II (11-35)	16,9	8,22	0,90	36,4	7,4	43,8
Тело свалки (т. 3-4), нарушенные земли (артнииндустраты)						
~ (0-53)	17,5	8,27	1,11	39,9	7,7	47,6

Продолжение таблицы 4.1

Горизонт (глубина, см)	<0,01мм, %	рНводн	Сорг, %	Обменные основания, мг-экв/100г почвы		
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма
падь Бабасанова						
Условно-фоновый участок (т.1), дерновая лесная почва						
A1 (1-21)	24,6	7,94	1,54	37,9	7,9	45,8
B (21-48)	24,8	8,20	0,99	36,8	7,6	44,4
Тело свалки (т.3-6), нарушенные земли (токсиндустраты)						
~ (0-50)	26,4	8,13	0,44	37,5	7,7	45,2

Отбор проб почв/грунтов для химического анализа на свалке п. Сотниково (см. рисунок 3.6) был проведен на условно-фоновых участках, расположенных с северо-западной стороны выше по рельефу местности относительно свалки (т.1-т.2), непосредственно на теле свалки (т.3-т.5) и в зоне её влияния на расстоянии до 1 км от условных границ свалки по ходу движения подземных вод (т.6-т.8). Образцы почв/грунтов, отобранных на условно-фоновых участках, незначительно отличаются друг от друга по большинству проанализированных элементов (таблица 4.2), для них характерно повышенное содержание Ni, Cu, Zn (на уровне ПДКп и выше), высокое содержание S – до 8 ПДКп, в некоторых единичных образцах отмечается повышенное содержание As – до 3,5 ПДКп.

Таблица 4.2 – Химический состав почв/грунтов в районе расположения свалки п. Сотниково

Элемент	ПДК _п , мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21]	Кларк в почве [Макаров и др., 2022]	Условно-фоновые участки (т.1-т.2)		Тело свалки (т.3-т.5)		Зона влияния (т.6-т.8)	
			C _{мин} -C _{макс}	C _{сред}	C _{мин} -C _{макс}	C _{сред}	C _{мин} -C _{макс}	C _{сред}
Rb	-	0,015	69-104	92	58-125	80	79-140	116
Sr	-	18-3500	404-564	454	421-584	524	428-476	480
Y	-	-	19-26	24	23-25	24	20-26	24
Sc	-	-	12-16	14	13-16	14	8,7-13,8	11
Zr	-	300	162-272	234	140-283	195	162-291	247
Nb	-	-	8-15	13	8-18	11	11-21	17
Mo	-	2	1,6	1,6	3,4-5,7	5	2,7-3,0	3
Cd	0,5	0,5	н/о	-	н/о	-	2,8-3,1	3
Sb	4,5	0,2-10	н/о	-	н/о	-	6,0-6,7	7
Cs	-	-	н/о	-	9,8	9,8	н/о	-
Ba	-	84-560	699-826	745	517,7-893,6	667	608-961	813
Ce	-	56	32-49	40	63,5	64	47-96	63
V	150	100	54-99	82	61-84	74	39-75	63
Cr	-	70-90	56-83	64	47-158	95	24-57	43
Co	-	10	13-19	17	12-25	20	9-15	12
Ni	20	20	28-35	31	18-50	34	19-23	20
Cu	33	15-60	21-61	30	20-38	30	14-53	28
Zn	55	56	54-419	133	119-223	176	46-269	117
Ga	-	-	11-17	15	12-15	13	9-16	14
Cl	-	-	65-876	238	175-549	398	37-228	126
As	2	5-8,7	5-10	7	7,8	8	н/о	-

Продолжение таблицы 4.2

Элемент	ПДК _п , мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21]	Кларк в почве [Макаров и др., 2022]	Условно-фоновые участки (т.1-т.2)		Тело свалки (т.3-т.5)		Зона влияния (т.6-т.8)	
			C _{min} -C _{max}	C _{сред}	C _{min} -C _{max}	C _{сред}	C _{min} -C _{max}	C _{сред}
S	160	-	439-3723	1317	1938-6980	4996	622-4479	1881
Br	-	-	8-21	14	9-18	13	3-19	8
Hf	-	-	1,7-6,2	4	4,4-5,0	5	3,0-11	6
W	-	-	4-5	4	5-18	10	4-5	4
Pb	32	3-84	17-108	36	24-33	30	18-24	21
Th	-	-	6,2-13	11	4,8-18,3	11	11-22,2	17
U	-	-	3,4-4,7	4	2,8-8,7	6	2,9-5,9	5
Ge	-	-	7,9-10,1	9	9,5-17,9	14	10,9	11

Примечание. н/о – ниже предела обнаружения

Стоит отметить, что максимальные значения диапазона концентраций химических элементов на условно-фоновых участках были зафиксированы в образцах почв/грунтов, отобранных в т. 2, к ним относятся: Cu – 61 мг/кг (1,8 ПДКп), Zn – 419 мг/кг (7,6 ПДКп), Pb – 108 мг/кг (3,4 ПДКп), что может быть связано с остаточным влиянием помётохранилища, располагавшегося на данной территории более 20 лет назад. Указанные элементы могут входить в состав птичьего помёта [Царева, 2021] и характеризуются высоким периодом полувыведения из почвы (Cu – 310-5100 лет; Zn – 70-510 лет; Pb – 740-5900 лет) даже после устранения источника загрязнения [Смагин, 2009]. Средние концентрации химических элементов в образцах почв/грунтов, отобранных на теле свалки (т. 3- т. 5) превышают условно-фоновые значения по многим химическим элементам, в том числе, относящимся к группе тяжёлых металлов: Sr, Mo, Cs, Ce, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cl, S, W, Pb, U, Ge, что обусловлено влиянием компонентов захороненных отходов на формирование химического состава поверхностного слоя почвы. По мере удаления от свалки концентрации большинства элементов вновь доходят до условно-фоновых значений и ниже (см. табл. 4.2).

Отбор проб почв/грунтов на свалке п. Стеклозавод был проведен на условно-фоновом участке, расположенном с северной стороны на возвышенности относительно свалки (т.1) и непосредственно на теле свалки (т.2-т.3) (см. рисунок 3.7). Во всех отобранных образцах выявлено повышенное содержание Zn (1,2-1,3 ПДКп) и S (3-18 ПДКп), содержание As и Pb превышают норму ПДКп в 2,3 и 1,5 раза, соответственно, но находятся в пределах кларковых содержаний [Макаров и др., 2022], по остальным элементам значительных превышений норм ПДКп или кларковых значений не обнаружено (таблица 4.3). В образцах проб почв/грунтов, отобранных на теле свалки, в отличие от условно-фоновых участков были обнаружены As, In, S, Pb, превышающие фоновые содержания в 2,5-8 раз, что свидетельствует о продолжающемся влиянии захороненных отходов. Значительное содержание в почвах Zn, S, Pb в целом на исследуемой территории п. Стеклозавод может быть связано с многолетней работой военной техники на полигоне, расположенном вблизи территории свалки.

Таблица 4.3 – Химический состав почв/грунтов в районе расположения свалки п. Стеклозавод

Элемент	ПДК _п , мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21]	Кларк в почве [Макаров и др., 2022]	Условно-фоновый участок (т.1)		Тело свалки (т.2-т.3)	
			C _{min} -C _{max}	C _{сред}	C _{min} -C _{max}	C _{сред}
Rb	-	0,015	112-124	118	85-131	108
Sr	-	18-3500	502-556	529	431-598	515
Y	-	-	21-22	21	13-22	17
Sc	-	-	8,0-12	10	8-14	11
Zr	-	300	263-281	272	155-264	209
Nb	-	-	17	17	6-16	11
In	-	-	н/о	-	9-11	10
Ba	-	84-560	1472-1751	1611	762-2290	1526
Ce	-	56	132-137	134	250-263	257
V	150	100	71-82	76	61-78	69
Cr	-	70-90	48-49	48	34-44	39
Co	-	10	15-16	15	9-20	14
Ni	20	20	17-20	19	18-20	19
Cu	33	15-60	15-13	14	13-17	15
Zn	55	56	68-71	70	40-86	63
Ga	-	-	15-19	17	11-18	14
Cl	-	-	171-222	196	162-287	225
As	2	5-8,7	н/о	-	4,0-4,9	4,5
S	160	-	553-690	621	612-5329	2971
Br	-	-	3-5	3,9	4,03-4,07	4
Hf	-	-	7,5-8,6	8	3,5-9,1	6
Pb	32	3-84	35	35	24-75	50
Th	-	-	17-18	18	18-20	19
U	-	-	3,5-4,3	4	3,0-3,2	3,1

Отбор проб почв/грунтов на свалке в местности падь Бабасанова (см. рисунок 3.9) был проведен на условно-фоновых участках, расположенных с северной стороны выше по рельефу местности относительно свалки (т.1-т.2), непосредственно на теле свалки (т.3-т.6), под телом свалки с юго-восточной стороны (т.7-т.8) и на расстоянии до 2 км от условных границ свалки (т.12) по ходу движения поверхностных и подземных вод. Содержание химических элементов в образцах почв/грунтов, отобранных на условно-фоновых участках, находится в пределах норм предельно-допустимых концентраций и кларковых значений за исключением единичных случаев превышения норм ПДК по Zn (до 1,2 ПДКп) и S (до 5,3 ПДКп). Химический состав почв/грунтов на теле свалки значительно отличается от фоновых показателей: в образцах с тела свалки были выявлены Mo, Cd, In, Sn, Sb и др. химические элементы, не свойственные условному фону. Концентрации химических элементов в образцах проб/грунтов на теле свалки в несколько раз превышают фоновые значения и нормы предельно-допустимых концентраций в почве: Cd – 44 ПДКп, S – 21 ПДКп, Cu – 8,4 ПДКп, Zn – 8,8 ПДКп, Pb – 4,9 ПДКп, что свидетельствует о

значительном продолжающемся влиянии захороненных отходов, которое сохраняется и в зоне влияния свалки (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Химический состав почв/грунтов в районе расположения свалки в местности падь Бабасанова

Элемент	ПДК _п , мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21]	Кларк в почве [Макаров и др., 2022]	Условно-фоновые участки (т.1-т.2)		Тело свалки (т.3-т.6)		Зона влияния (т.7-т.8)	
			C _{min} -C _{max}	C _{сред}	C _{min} -C _{max}	C _{сред}	C _{min} -C _{max}	C _{сред}
Rb	-	0,015	101-105	103	64-110	88	93-97	95
Sr	-	18-3500	544-571	560	238-1248	576	464-507	491
Y	-	-	21-25	22	19-29	26	27-32	29
Sc	-	-	12-14	13	10-16	13	12-14	13
Zr	-	300	167-228	188	172-295	208	257-456	366
Nb	-	-	12-15	13	8-17	12	14-20	16
Mo	-	2	н/о	-	3,3-21	9	2,4-2,8	2,8
Cd	0,5	0,5	н/о	-	9,1-45	22	н/о	-
In	-	-	н/о	-	5,6-7,0	6	н/о	-
Sn	-	-	н/о	-	13-229	80	н/о	-
Sb	4,5	0,2-10	н/о	-	5,7-47	18	н/о	-
Cs	-	-	н/о	-	11-22	15	н/о	-
Ba	-	84-560	739-821	776	702-1264	926	774-817	793
Ce	-	56	40-41	41	28-85	50	38-75	51
V	150	100	70-75	73	64-131	93	74-86	82
Cr	-	70-90	44-53	48	50-451	135	38-49	43
Co	-	10	13-17	15	11-33	21	17-18	17
Ni	20	20	21-25	22	24-146	52	22-24	22
Cu	33	15-60	19-21	19	22-1447	276	16-23	19
Zn	55	56	60-84	69	78-3147	485	56-77	64
Ga	-	-	16-19	17	12-22	15	16-18	17
Cl	-	-	109-155	125	31-10527	1529	80-239	175
As	2	5-8,7	н/о	-	5,9-11	7	5,7	6
S	160	-	807-914	860	239-17203	3381	1050-4904	2727
Br	-	-	9-17	13	6-28	12	14-19	17
Hf	-	-	4,3-9,5	7	1,6-10	6	5,8-7,2	7
W	-	-	3-5	4	15-50	19	6,49	6
Pb	32	3-84	21-23	22	17-735	157	19-20	20
Th	-	-	7,2-8,0	13,2	5,7-19	12	8-10	9
U	-	-	4,8-6,8	6	3,9-13	7	2,8-5,5	5
Ge	-	-	6,9	7	4,3-10	6	9,6	9,6

Анализ химического состава грунтов в зоне влияния свалки в местности падь Бабасанова на глубину 3,5-4 м (см. рисунок 3.9, т.7 и т.8) позволил условно разделить химические элементы на две группы: элементы, концентрация которых в почвах/грунтах снижается с глубиной, и элементы, концентрация которых остается неизменной, либо слабо возрастает по мере увеличения глубины отбора проб. К первой группе относятся S и тяжёлые металлы: Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd

(рисунок 4.1), повышенное содержание данных элементов на глубине 0-100 см с дальнейшим трендом к снижению свидетельствует об их антропогенном источнике происхождения и миграции из основного тела свалки.

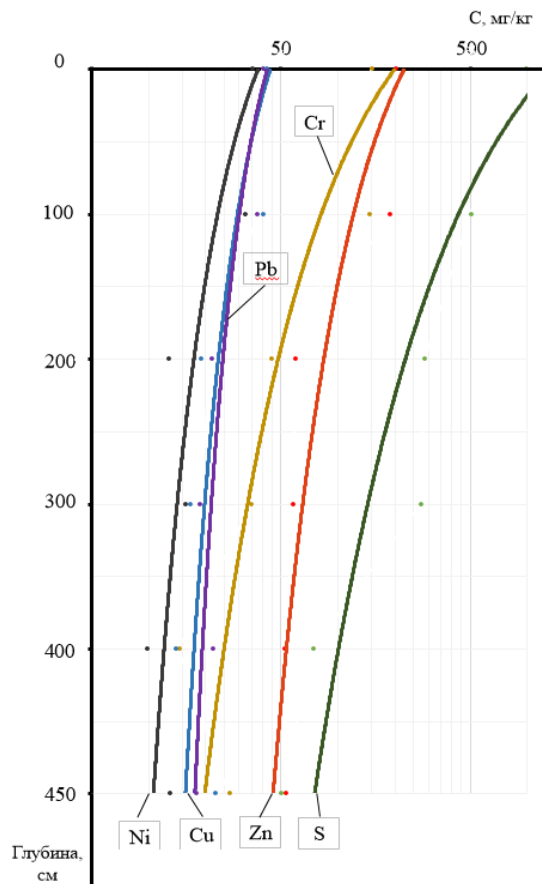


Рисунок 4.1 – Распределение S, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni в грунтах в зоне влияния свалки в местности падь Бабасанова (в логарифмической шкале)

Значительное снижение содержания S в образцах проб почв/грунтов с ростом глубины может также объясняться её происхождением, известно, что 98% от валового содержания S в почве представлено серосодержащими органическими соединениями, содержащимися в растительных остатках и гумусовых веществах [Миккельсен, Нортон, 2014]. С ростом глубины содержание растительных остатков снижается и, как следствие, снижается валовое содержание серы. В результате деятельности микроорганизмов, в почве протекают процессы трансформации органической серы в неорганическую форму, в основном, представленную сульфатами, либо, при определенных условиях, сульфидами, например, с образованием пирита, однако эти процессы зачастую протекают достаточно медленно. Ко второй группе относятся типичные представители литофильной группы элементов по классификации В.М. Гольдшмидта – Rb, Hf, Ba, Sr, Zr, Nb, Th и др., наличие которых в отобранных образцах грунтов обусловлено их содержанием в коренных породах (рисунок 4.2).

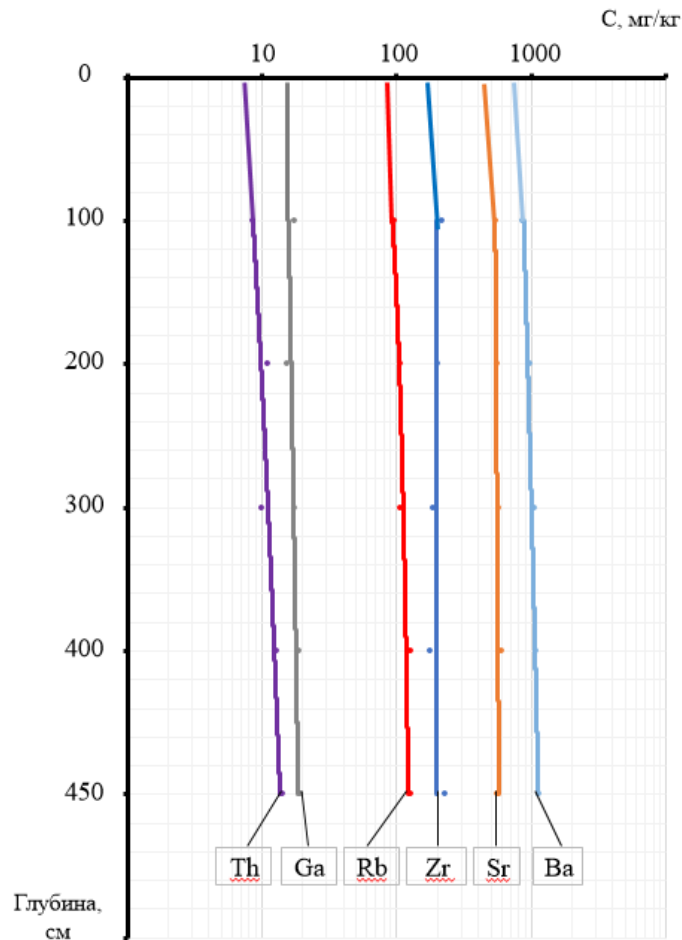


Рисунок 4.2 – Распределение Ba, Sr, Zr, Rb, Ga, Th в грунтах в зоне влияния свалки в местности падь Бабасанова (в логарифмической шкале)

Отбор проб почв/грунтов на свалке п. Площадка был проведен на условно-фоновом участке, расположенном с западной стороны на возвышенности относительно свалки (т.1) и непосредственно на рекультивированных участках тела свалки (т.3-т.4) (см. рисунок 3.8). Содержание химических элементов в почвах/грунтах, отобранных на теле свалки, не отличается фоновых значений, а в ряде случаев находится ниже, чем на условно-фоновом участке. Для почв/грунтов п. Площадка, характерны те же особенности, что и для почв/грунтов, отобранных в местности падь Бабасанова: единичные случаи превышения нормативов предельно допустимых концентраций по Zn (1,1-1,2ПДКп) и S (1,8-4,9ПДКп), содержание As превышает нормы ПДКп в 3-4 раза, однако находится в пределах кларковых значений (таблица 4.5). Отсутствие существенного отличия химического состава почв, отобранных на теле свалки и условно-фоновом участке п.Площадка свидетельствует о достаточно хорошей изоляции захороненных отходов в процессе проведения рекультивационных работ на данной территории.

Таблица 4.5 – Химический состав почв/грунтов в районе расположения свалки п. Площадка

Элемент	ПДК _n , мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21]	Кларк в почве [Макаров и др., 2022]	Условно-фоновый участок (т.1)		Тело свалки (т.3-т.4)	
			C _{min} -C _{max}	C _{сред}	C _{min} -C _{max}	C _{сред}
Rb	-	0,015	93-104	99	105-111	110
Sr	-	18-3500	479-602	540	350-363	360
Y	-	-	24-25	24,36	22-24	23
Sc	-	-	10-11	11	10-11	11
Zr	-	300	216-238	227	255-266	260
Nb	-	-	12-13	13	12-13	13
Cs	-	-	н/о	-	8-10	9
Ba	-	84-560	918-949	934	800-807	805
Ce	-	56	29-45	37	н/о	-
V	150	100	84-86	85	68-72	70
Cr	-	70-90	51-56	54	33-36	35
Co	-	10	14-20	17	8-11	10
Ni	20	20	23-27	25	18-20	19
Cu	33	15-60	21-28	24	20-21	21
Zn	55	56	68-70	69	55-60	59
Ga	-	-	15-18	16	15-19	18
Cl	-	-	44-62	53	45-50	49
As	2	5-8,7	4,5-7,2	6	7-8	8
S	160	-	408-1161	785	250-292	290
Br	-	-	5-6	5,6	5,2-5,8	5,5
Hf	-	-	9,2-9,4	9	8,2-8,7	8,5
Pb	32	3-84	22-23	23	20-23	22
Th	-	-	11-13	12	8-10	9
U	-	-	5	5	4,0-4,4	4,3

Для проведения сравнительного анализа состояния почв/грунтов на всех выбранных объектах исследования были рассчитаны суммарные индексы загрязнения почв (см. формулу 3.2). В случае отсутствия фоновых значений при расчете $Z_c(n)$ использовалась половина предела обнаружения прибора, применяемого для химического анализа. Результаты расчёта показали, что отходы, накопленные в теле свалок, в целом оказывают влияние на формирование химического состава грунта. Грунт с поверхности свалок содержит в своем составе Mo, Cd, Sn, Sb, W и ряд других элементов, не свойственных условно-фоновым участкам (таблица 4.6).

Степень химического загрязнения грунта на свалках зависит как от типа накопленных отходов, так и от периода времени с момента закрытия свалки. На «молодой» свалке бытовых отходов п. Сотниково поверхностный слой грунта характеризуется опасной степенью загрязнения [Методические указания, 1999] ($Z_c(n)=37,03$), K_k варьируются от 1,02 (V) до 8,48 (S), на «старой» свалке бытовых и строительных отходов п. Стеклозавод, грунт относится к умеренно-опасной категории загрязнения ($Z_c(n)=31,16$), K_k варьируются от 1,02 (V, Ga) до 8,58 (S).

Таблица 4.6 – Пределы колебаний содержаний химических элементов (C_{\min} - C_{\max} , мг/кг), коэффициенты концентрации (K_{κ}^{\max}) и суммарный индекс загрязнения почв (Z_c (п)) на территориях объектов размещения отходов Улан-Удэнской агломерации

Элемент	ПДК _п , мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21]	п. Сотниково		п. Стеклозавод		падь Бабасанова		п. Площадка	
		C_{\min} - C_{\max}	K_{κ}^{\max}	C_{\min} - C_{\max}	K_{κ}^{\max}	C_{\min} - C_{\max}	K_{κ}^{\max}	C_{\min} - C_{\max}	K_{κ}^{\max}
Rb	-	58-140	1,52	85-131	1,11	64-110	1,07	105-111	1,12
Sr	-	492-576	1,27	431-598	1,13	238-1248	2,23	350-363	0,67
Y	-	20-25	1,04	13-22	1,05	19-29	1,32	22-24	1,00
Sc	-	8,7-13	0,93	8,0-14	1,46	10-16	1,23	10-11	1,00
Zr	-	162-288	1,23	155-264	0,97	172-295	1,57	255-266	1,17
Nb	-	8-21	1,62	6-16	0,99	8-17	1,31	12-13	1,00
Mo	-	2,9-5,7	3,56	н/о	-	3,3-21	21,00	н/о	-
Cd	0,5	2,8-3,1	6,20	н/о	-	9,1-45	90,00	н/о	-
In	-	н/о	-	9,0-11,0	7,53	5,6-7,0	4,67	н/о	-
Sn	-	н/о	-	н/о	-	13-229	229,00	н/о	-
Sb	4,5	6,0-6,7	1,49	н/о	-	5,7-47	10,44	н/о	-
Cs	-	8,0-9,8	6,53	н/о	-	11-22	14,67	8-10	6,80
Ba	-	590-961	1,29	762-2290	1,42	702-1264	1,63	800-807	0,86
Ce	-	48-96	2,40	250-263	1,96	28-85	2,07	н/о	-
V	150	39-84	1,02	61-78	1,02	64-131	1,79	68-72	0,84
Cr	-	24-79	1,23	34-44	0,92	50-451	9,40	33-36	0,67
Co	-	9-22	1,29	9-20	1,28	11-33	2,20	8-11	0,65
Ni	20	19-35	1,13	18-20	1,10	24-146	6,64	18-20	0,79
Cu	33	31-38	1,27	13-17	1,20	22-1447	76,16	20-21	0,87
Zn	55	46-269	2,02	40-86	1,23	78-3147	45,61	55-60	0,87
Ga	-	9-16	1,07	11-18	1,02	12-22	1,29	15-19	1,14
Cl	-	37-549	2,31	162-287	1,46	31-10527	84,22	45-50	0,94
As	2	7,0-7,8	1,11	4,0-4,9	2,47	5,9-11	5,50	7-8	1,37
S	160	622-6070	8,48	612-5329	8,58	239-17203	20,00	250-292	0,37
Br	-	4-19	1,36	4,03-4,07	1,04	6-28	2,15	5,2-5,8	1,04
Hf	-	5,3-11	2,75	3,5-9,1	1,12	1,6-10	1,43	8,2-8,7	0,94
W	-	15-18	4,50	н/о	-	15-50	12,50	н/о	-
Pb	32	18-31	0,86	24-75	2,16	17-735	33,41	20-23	1,00
Th	-	4,8-20,1	1,83	18-20	1,11	5,7-19	1,44	8-10	0,86
U	-	5,9-6,9	1,73	3,0-3,2	0,83	3,9-13	2,17	4,0-4,4	0,88
Ge	-	9,5-17,9	1,99	-	-	4,3-10	1,43	-	-
Z_c (п)		37,03		31,16		659,54		4,85	
Категория почв [Методические указания, 1999]		опасная		умеренно-опасная		чрезвычайно-опасная		допустимая	

Снижение химического загрязнения поверхностного слоя грунта на «старой» свалке может быть связано с отсутствием непосредственного контакта с отходами, и частично терригенной природой его формирования. Стоит отметить, что результаты анализа проб грунта, послойно отобранных на свалке п. Стеклозавод, показали, что химическое загрязнение грунта возрастает с

глубиной, что свидетельствует о продолжающемся влиянии захороненных отходов. Поверхностный слой грунта на свалке промышленных отходов (падь Бабасанова), несмотря на продолжительное время с момента её закрытия, относится к чрезвычайно-опасной категории ($Z_c(p) = 659,54$); K_k варьирует от 1,07 (Rb) до 229 (Sn). Высокие показатели суммарного индекса загрязнения грунтов свидетельствуют о значительном влиянии захороненных промышленных отходов, возможно содержащих в своем составе агрессивные химические вещества и элементы в подвижной форме, отражающиеся на химическом составе почв/грунтов. Поверхностный слой грунта на свалке золошлаковых отходов был отнесён к допустимой категории загрязнения ($Z_c(p)=4,85$); K_k варьирует от 1,04 (Br) до 6,80 (Cs), что связано с уже начавшимися рекультивационными работами на данном объекте размещения отходов.

По суммарному индексу загрязнения грунтов рассматриваемые объекты захоронения отходов можно разместить в следующий сравнительный ряд (по уменьшению $Z_c(p)$):

$$\frac{\text{падь Бабасанова}}{Z_c(p)=659,54} > \frac{\text{п. Сотниково}}{Z_c(p)=37,03} > \frac{\text{п. Стеклозавод}}{Z_c(p)=31,16} > \frac{\text{п. Площадка}}{Z_c(p)=4,85}$$

В целом, доли превышения ПДК_п варьируются от 6,2 до 89,8 (Cd), от 1,5 до 10,4 (Sb), от 6,0 до 75,2 (Cr), от 2,2 до 6,6 (Co), от 1,8 до 7,3 (Ni), от 1,6 до 43,8 (Cu), от 1,1 до 57,2 (Zn), от 2,3 до 23 (Pb). Максимальные превышения ПДК_п зафиксированы в почвах на свалках п. Сотниково и в пади Бабасанова (рисунок 4.3).

На основании валового содержания химических элементов в почвах/грунтах условно-фоновых участков и на свалках были составлены геохимические ряды их распределения:

п. Сотниково фон S>Ba>Sr>Cl>Zr>Zn>Rb>V>Cr>Ce>Pb>Ni>Cu>Y>Co>Ga>Br>Sc
 свалка S>Ba>Sr>Cl>Zr>Zn>**Cr**>Rb>V>Ce>Ni>Cu>Pb>Y>Co>Sc>Ge>Ga
 п. Стеклозавод фон Ba>S>Sr>Zr>Cl>Ce>Rb>V>Zn>Cr>Pb>Y>Ni>Th>Ga>Nb>Co>Cu
 свалка S>Ba>Sr>Ce>Cl>Zr>Rb>V>Zn>Pb>Cr>Th>Ni>Y>**Cu**>Co>Ga>Nb
 п. Площадка фон Ba>S>Sr>Zr>Rb>V>Zn>Cr>Cl>Ce>Ni>Cu>Y>Pb>Co>Ga>Nb>Th
 свалка Ba>Sr>S>Zr>Rb>V>Zn>Cl>Cr>Y>**Pb**>Cu>Ni>Ga>Nb>Co>Sc>Cs
 падь Бабасанова фон S>Ba>Sr>Zr>Cl>Rb>V>Zn>Cr>Ce>Ni>Pb>Y>Cu>Ga>Co>Nb>Br
 свалка S>Cl>Ba>**Zn**>Sr>**Cu**>Zr>**Pb**>Cr>V>Rb>Sn>Ni>Ce>Y>**Cd**>Co>W

Геохимические ряды распределения также показали миграцию тяжелых металлов в почвах/грунтах на свалках по сравнению с условно-фоновыми участками, что наиболее заметно наблюдалось на свалке в местности падь Бабасанова.

доли ПДК

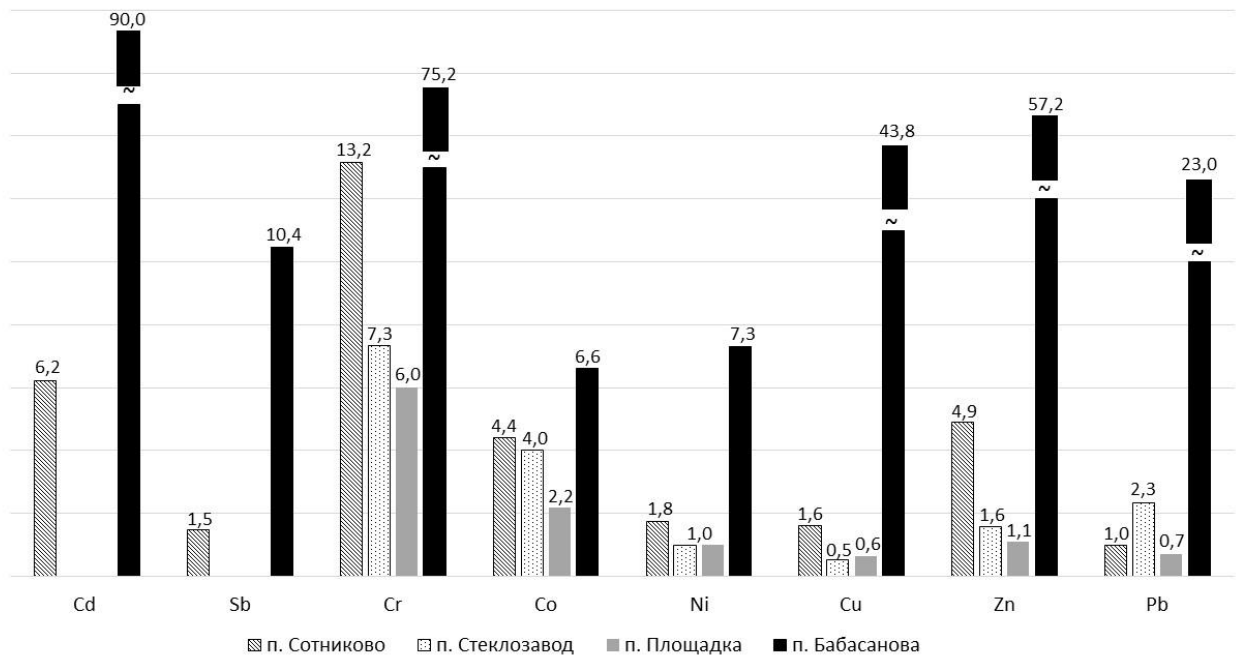
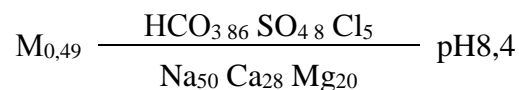


Рисунок 4.3 – Максимальные превышения ПДК в грунтах на объектах размещения отходов в пределах Улан-Удэнской агломерации

4.2 Химический состав подземных вод

Химический состав подземных вод был проанализирован в скважинах жилого массива, расположенных вокруг свалки промышленных отходов в местности падь Бабасанова, в наблюдательных скважинах на свалках п. Площадка и п. Сотниково. В п. Стеклозавод наблюдательных скважин на свалке и скважин в ближайшем жилом массиве обнаружено не было.

На свалке промышленных отходов в местности падь Бабасанова пробы были отобраны в фоновой точке (т. 1), в скважине глубиной 42 м (т. 9), расположенной на расстоянии 500 м от основного тела свалки и в скважине глубиной 40 м (т. 10) расположенной на расстоянии 1,4 км от основного тела свалки (см. рисунок 3.9). Географические координаты точек отбора представлены в приложении А. Результаты анализа катионно-анионного состава подземных вод в районе пади Бабасанова (таблица 4.7) показали, что вода на условно-фоновом участке относится к пресной, щелочной, хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатной магниевно-кальциево-натриевой, формула М.Г. Курлова для подземной воды на условно-фоновом участке выглядит следующим образом:



В контрольных точках свалки в местности падь Бабасанова (т.9 и т.10) тип воды незначительно меняется в сторону увеличения содержания в воде кремниевой кислоты с 3,81 до 7,25-7,28 мг/л, уменьшения содержания в воде ионов натрия с 73,6 до 36,3-39,6 мг/л и рН с 8,4 до 7,7. В контрольных скважинах наблюдается также рост содержания в воде ионов железа (III) с 2,1 до 3,8-4,0 мг/л, хлорид-иона с 11,7 до 30,1 мг/л, нитрат-иона с 0,83 до 2,2-10,3 мг/л. В контрольной точке, расположенной вблизи свалки (т.9) зафиксированы превышения над фоном следующих ионов: Ca^{2+} – 2,78 $\text{C}_{\text{фон}}$, Mg^{2+} – 1,9 $\text{C}_{\text{фон}}$, Fe^{3+} – 1,9 $\text{C}_{\text{фон}}$, NO_3^- – 12,4 $\text{C}_{\text{фон}}$, SO_4^{2-} – 3,7 $\text{C}_{\text{фон}}$, Cl^- – 2,6 $\text{C}_{\text{фон}}$. В целом вода была отнесена к пресной хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатной магниевонатриево-кальциевой. Формула Курлова М.Г. для подземной воды в контрольных скважинах представлена следующим образом:

$$M_{0,41} \frac{\text{HCO}_3 \text{ } 84 \text{ SO}_4 \text{ } 10 \text{ Cl}_5}{\text{Ca}_{41} \text{ Na}_{49} \text{ Mg}_{27}} \text{ pH}7,7$$

Скачок минерализации в скважине, расположенной на расстоянии 500 м от свалки в пади Бабасанова (т. 9) связан скорее всего с попаданием оголовка скважины в пласт известняка, доломита или иную карбонатную породу при бурении. Это подтверждается повышенным содержанием в воде на данной точке ионов кальция (2,78 $\text{C}_{\text{фон}}$), магния (1,85 $\text{C}_{\text{фон}}$), а также сульфатов (3,71 $\text{C}_{\text{фон}}$), гидрокарбонатов (1,23 $\text{C}_{\text{фон}}$) и хлоридов (2,58 $\text{C}_{\text{фон}}$).

В целом в подземных водах в районе пади Бабасанова выявлено стабильное превышение норм ПДК по фторид иону. Превышение зарегистрировано начиная с фоновой точки, что исключает влияние объекта размещения отходов на данный показатель. Санитарно-гигиенические нормы (ПДК_{сан-гиг}) по фторид-иону превышены до 1,2-1,7 раз, рыбохозяйственные нормативы (ПДК_{рыб-хоз}) – до 2,3-3,4 раз. Исключение составляют подземные воды в т.11, на данном участке превышений норм ПДК по фторид-иону не зафиксировано, однако выявлено превышение норм ПДК по железу общему (7,3 ПДК_{сан-гиг}), ионам Mg^{2+} (1,7 ПДК_{сан-гиг}), Ca^{2+} (1,4 ПДК_{рыб-хоз}), сульфатам (1,3 ПДК_{сан-гиг}, 6,4 ПДК_{рыб-хоз}), для них характерна повышенная минерализация (1572,14 мг/л) и высокая жёсткость (19,6⁰Ж).

Подземные воды п. Площадка были отобраны в двух скважинах (см. рисунок 3.8), одна из которых заложена выше (т. 2), другая – ниже (т. 5) по потоку подземных вод от накопителя отходов. Подземные воды в фоновой скважине п. Площадка были отнесены к пресным сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатным кальциево-натриево-магниевым (по формуле М.Г. Курлова):

$$M_{0,53} \frac{\text{HCO}_3 \text{ } 63 \text{ Cl}_{25} \text{ SO}_4 \text{ } 12}{\text{Mg}_{36} \text{ Na}_{35} \text{ Ca}_{29}} \text{ pH}8,4$$

Таблица 4.7 – Катионно-анионный состав подземной воды в зоне влияния объектов размещения отходов (п. Сотниково, п. Площадка, падь Бабасанова)

Площадки отбора проб	рН	H ₂ SiO ₃ , мг/л	Минерализация, мг/л	ПМО, мгО ₂ /л	Жесткость, °Ж	Fe ^{общ} , мг/л	Концентрация катионов, мг/л					Концентрация анионов, мг/л						
							NH ₄ ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ³⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻
ПДК _{сан-гиг}	6,5-8,5	-	1000-1500	5,0-7,0	7,0-10,0	0,3	1,5	200	50	-	-	-	-	350	3,3	500	45	1,5
ПДК _{рыб-хоз}	С _ф	-	-	-	-	0,1	0,5	120	40	180	-	-	-	300	0,08	100	40	С _ф +0,05 (до 0,75)
п. Сотниково																		
т. 1 (фон)	8,45	13,68	692,56	41,66	3,6	1,8	0	140	9,73	56,11	1,8	281,16	13,5	42,54	0,12	230	9,8	2,85
т. 6 (зона влияния)	7,31	3,42	<u>2722,44</u> 3,93	<u>141,36</u> 3,39	<u>36</u> 10,0	<u>14,8</u> 8,22	<u>15,94</u> 16	135	<u>346,56</u> 35,6	<u>150,3</u> 2,68	<u>14,8</u> 8,22	<u>1213,04</u> 4,31	0	<u>852,57</u> 20,04	<u>0,14</u> 1,17	3,5	4,3	0,1
падь Бабасанова																		
т. 1 (фон)	8,42	3,81	493,63	1,84	0,1	<0,05	<0,05	73,59	15,81	36,07	2,12	317,29	9	11,7	0,05	23,03	0,83	1,75
т. 9 (зона влияния)	7,57	<u>7,25</u> 1,90	696,54	1,23	<u>2,2</u> 22,0	<0,05	<0,05	39,55	<u>29,18</u> 1,85	<u>100,2</u> 2,78	<u>4,01</u> 1,89	<u>390,52</u> 1,23	-	<u>30,14</u> 2,58	0,03	<u>85,53</u> 3,71	<u>10,3</u> 12,41	<u>2,55</u> 1,46
т. 10 (зона влияния)	7,73	<u>7,28</u> 3,83	420,2	<u>2,46</u> 1,34	<u>0,7</u> 7,0	<0,05	<0,05	36,34	<u>17,63</u> 1,12	<u>44,09</u> 1,22	<u>3,81</u> 1,80	274,58	-	9,57	0,02	<u>25,49</u> 1,11	<u>2,2</u> 2,65	<u>1,92</u> 1,10
т. 11 (зона влияния)	6,67	<u>22,23</u> 5,83	<u>1572,14</u> 3,18	<u>5,2</u> 2,83	<u>19,6</u> 196	<0,05	<0,05	<u>72,89</u> 0,99	<u>83,9</u> 5,31	<u>254,51</u> 7,06	<u>2,2</u> 1,04	<u>427,13</u> 1,35	-	<u>71,25</u> 6,09	0,02	<u>640</u> 27,79	<u>5,9</u> 7,11	0,45
п. Площадка																		
т. 2 (фон)	8,38	6,50	530,32	1,77	3,00	<0,05	<0,05	59,79	32,22	43,09	0,34	280,68	4,50	63,47	0,04	40,30	1,48	0,34
т. 5 (зона влияния)	8,42	2,42	<u>623,69</u> 1,18	<u>1,92</u> 1,08	2,90	<0,05	<u>4,50</u> 90,0	58,64	<u>51,68</u> 1,60	43,09	<u>1,20</u> 3,53	<u>292,89</u> 1,04	<u>6,00</u> 1,33	<u>113,46</u> 1,79	0,03	<u>50,16</u> 1,24	0,30	0,23

Примечание:

* - Жирным показаны превышения над фоновыми значениями. С_ф – фоновая концентрация.

В контрольной точке (после прохождения под телом свалки) наблюдается повышение минерализации подземных вод с 530 до 623 мг/л, но в целом их тип не меняется, воды относятся к пресным сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатным кальциево-натриево-магниевым:

$$M_{0,62} \frac{HCO_3 53 Cl_{35} SO_4 12}{Mg_{46} Na_{28} Ca_{23}} \text{ pH } 8,4$$

Кроме минерализации по сравнению с фоном в контрольной точке наблюдаются повышения содержания ионов NH_4^+ – до $90C_{фон}$, Fe^{3+} – до $3,5 C_{фон}$, Cl^- – до $1,8 C_{фон}$, Mg^{2+} – до $1,6 C_{фон}$, CO_3^- – до $1,3 C_{фон}$, SO_4^{2-} – до $1,2 C_{фон}$, превышение норм ПДК зафиксировано по ионам Mg^{2+} – до $1,3 ПДК_{рыб-хоз}$, NH_4^+ – до $3,0 ПДК_{сан-гиг}$ ($9,0 ПДК_{рыб-хоз}$), что свидетельствует о продолжающемся влиянии захороненных отходов.

Отбор проб на фоновом участке п. Сотниково был проведен в скважине глубиной около 100 м (в районе т. 1, см. рисунок 3.6), расположенной в жилом массиве, вода из скважины используется для питьевого водоснабжения жителей поселка. Вода на фоновом участке пресная, слабощелочная, относится к хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатному магниевом-кальциево-натриевому типу. Формула М.Г. Курлова для природной воды на фоновом участке п. Сотниково:

$$M_{0,72} \frac{HCO_3 48 SO_4 38 Cl_{12}}{Na_{62} Ca_{29} Mg_8} \text{ pH } 8,5$$

Результаты анализа катионно-анионного состава подземной воды из наблюдательной скважины, расположенной вблизи тела полигона п. Сотниково (т. 6, глубина скважины 50 м), показали, что вода относится к гидрокарбонатно-хлоридному натриево-кальциево-магниевому типу с нейтральной величиной pH (6,8-7,3) и повышенной относительно фоновых значений минерализацией (солончатые воды), что может свидетельствовать об образовании фильтрата в теле полигона. Формула М.Г. Курлова для воды из наблюдательной скважины п. Сотниково имеет вид:

$$M_{2,74} \frac{Cl_{55} HCO_3 45}{Mg_{66} Ca_{17} Na_{14}} \text{ pH } 7,3$$

Повышенные содержания ионов Cl^- (852,57 мг/л), HCO_3^- (1213,04 мг/л), NH_4^+ (15,94 мг/л), Mg^{2+} (346,56 мг/л) также свидетельствуют об образовании фильтрата со свалки, что нашло своё подтверждение в работах других авторов. Так, согласно исследованиям, проведенным Гуман О.М., преобладающими анионами в фильтрате со свалок являются HCO_3^- , NH_4^+ и Cl^- , катионами – Na^+ , K^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} [Гуман, 2009]. В исследуемой воде из контрольной скважины свалки п. Сотниково наблюдаются значительные превышения рыбохозяйственных и санитарно-гигиенических норм ПДК по следующим ионам: NH_4^+ – $10,63 ПДК_{сан-гиг}$ ($31,88 ПДК_{рыб-хоз}$); Mg^{2+} – $6,93 ПДК_{сан-гиг}$ ($8,66 ПДК_{рыб-хоз}$); Cl^- – $2,44 ПДК_{сан-гиг}$ ($2,84 ПДК_{рыб-хоз}$). При этом нейтральная реакция среды (pH7,3) фильтрата соответствует возрасту захороненных отходов 10-20 лет согласно

исследованиям, посвященным изменению состава фильтрата в зависимости от возраста захороненных отходов [Farquhar, 1989; El-Fadel et al., 2002] и подробно рассмотренным в разделе 1.1 диссертационной работы.

Анализ микрокомпонентного состава подземных вод по 72 элементам в районе свалки в пади Бабасанова выявил превышение в контрольных точках по сравнению с фоном по 38 элементам в скважине, расположенной в непосредственной близости к телу свалки (т. 9, см. рисунок 3.9), по 26 элементам в скважине, расположенной на расстоянии 1,4 км к юго-востоку от тела свалки (т. 10), по 46 элементам, расположенным на расстоянии 1 км к юго-западу от тела свалки (т. 11). В таблице 4.8 показаны концентрации микроэлементов, по которым были выявлены наибольшие превышения над фоном. По этим же элементам наблюдаются превышения санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных норм предельно-допустимых концентраций: V – до 1,9 ПДК_{рыб-хоз}, Cu – до 8,3 ПДК_{рыб-хоз}, Zn – до 3,6 ПДК_{рыб-хоз}, Se – до 1,3 ПДК_{рыб-хоз}, Br – до 2,5 ПДК_{сан-гиг}, Mn – до 32 ПДК_{сан-гиг}, Fe – до 3,4 ПДК_{сан-гиг}. Стоит отметить, что в подземной воде, отобранной в фоновой точке, были зафиксированы повышенные содержания Hg – 3,4 раз ПДК_{сан-гиг} (170 ПДК_{рыб-хоз}) и U – 2,5 ПДК_{сан-гиг}.

Таблица 4.8 – Содержание микроэлементов в подземных водах в районе расположения свалки в местности падь Бабасанова

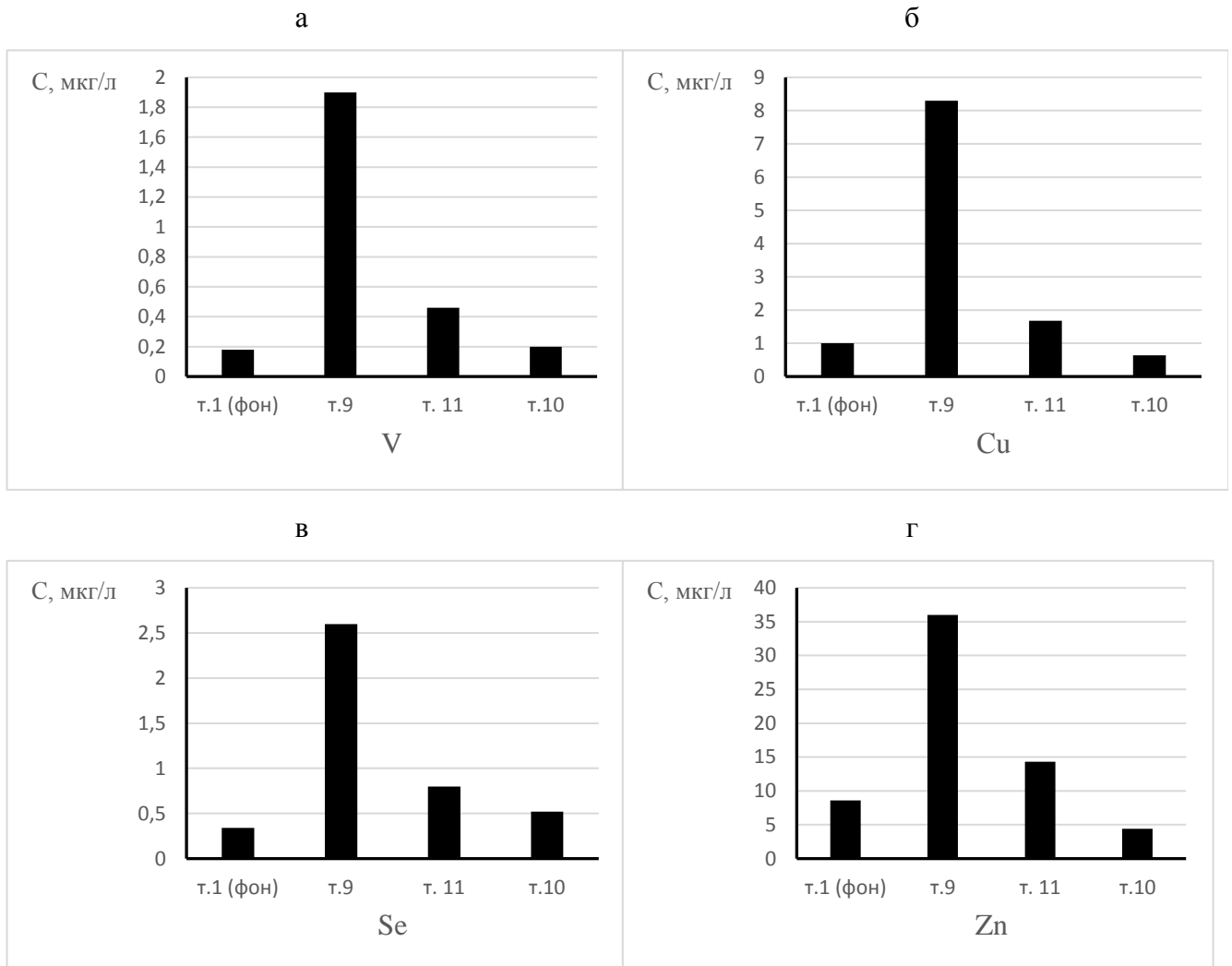
Площадки отбора проб	Концентрация элемента, мкг/л												
	Be	S	Co	V	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Br	Ru	Hg	U
ПДК _{сан-гиг}	0,2	-	100	100	100	300	1000	5000	10	200	-	0,5	15
ПДК _{рыб-хоз}	0,3	10000	10	1	10	100	1	10	2	1350	-	0,01	-
т. 1 (фон)	0,0016	11800	0,29	0,18	38	43	1	8,6	0,34	126	0,003	1,7	37
т. 9 (зона влияния)	<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> 0,67	<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
т. 11 (зона влияния)	<u>0,022</u> 13,75	<u>210000</u> 21,0	<u>1,46</u> 5,03	<u>0,46</u> 2,56	<u>3200</u> 84,2	<u>1010</u> 23,5	<u>1,68</u> 1,68	<u>14,3</u> 1,66	<u>0,80</u> 2,35	<u>230</u> 1,82	<u>0,015</u> 5,0	<u>0,12</u> 0,07	<u>3,9</u> 0,1

Примечание: В знаменателе показаны Кк, рассчитанные относительно фоновых значений. Место расположения точек отбора пром см. рис. 2.

Индекс загрязнения для воды из скважин в зоне влияния свалки ТПрО падь Бабасанова (т.9, т.10) был рассчитан по 6 приоритетным загрязняющим веществам, значительно превышающим фоновые значения (Be, V, Mn, Cu, Zn, Se) по формуле 3.3. ИЗВ в контрольных скважинах составил: т. 9 – 2,5 – 4 класс (загрязненная); т.10 – 1,0 – 3 класс (умеренно загрязненная).

Из микроэлементов, представленных в таблице 4.8 стоит обратить внимание на V – 10,56 С_{фон}, Cu – 8,3 С_{фон}, Se – 7,65 С_{фон}, Zn – 4,2 С_{фон}. Отличительной особенностью этих элементов является широкое применение их в промышленности, в частности, селен является полупроводником и применяется в электротехнике [Кульчицкий, Наумов, 2015]. Ванадий и сплавы цветных металлов (медь, цинк) используются в качестве легирующих элементов и широко применя-

ются в металлургии [Чурилов и др., 2017]. Учитывая тот факт, что свалка промышленных отходов в местности падь Бабасанова использовалась для складирования отходов промышленных предприятий г. Улан-Удэ возможна миграции этих элементов в подземные воды из толщи отходов. По мере удаления от свалки концентрации большинства элементов в подземных водах снижаются и некоторые доходят до фоновых значений (рисунок 4.4).



т. 1 (фон) – фоновая скважина, т. 9 – скважина на расстоянии 500 м от основного тела свалки, т. 10 – скважина, расположенная на расстоянии 1,4 км к юго-востоку от основного тела свалки, т.11 – скважина, расположенная на расстоянии 1 км к юго-западу от основного тела свалки

Рисунок 4.4 – Динамика изменения концентрации V, Cu, Se, Zn в подземных водах в районе расположения свалки в пади Бабасанова

Микроэлементный анализ подземных вод в районе расположения объекта захоронения золошлаковых отходов п. Площадка показал, что в контрольной скважине (т. 5, см. рисунок 3.8) для 9 элементов (Na, K, Rb, Nb, Cd, Sn, Lu, Pb, Th) наблюдаются превышения содержания над фоновыми показателями в 2 и более раз (таблица 4.9). Все перечисленные элементы, могут вхо-

дуть в состав золошлаковых отходов, концентрируясь либо в шлаке, либо в золе уноса [Ермагамбет и др., 2018]. Таким образом, наблюдается влияние захороненных золошлаковых отходов на состав подземных вод. Нормы ПДК в контрольной точке превышены по Li – 1,4ПДК_{сан-гиг}, Mn – 2,2ПДК_{сан-гиг} (22 ПДК_{рыб-хоз}), Sr – 3,1ПДК_{рыб-хоз}, Hg – 3,0 ПДК_{сан-гиг} (150ПДК_{рыб-хоз}). Стоит отметить, что для перечисленных элементов характерно повышенное содержание и в фоновой скважине, вызванное скорее всего, в целом высокой антропогенной нагрузкой на данной территории и крупной ртутной аномалией подземных вод в районе расположения свалок п. Площадка и пади Бабасанова.

Таблица 4.9 – Содержание микроэлементов в подземных водах в районе расположения участка захоронения золошлаковых отходов п. Площадка

Площадки отбора проб	Концентрация элемента, мкг/л								
	Na	K	Rb	Nb	Cd	Sn	Lu	Pb	Th
ПДК _{сан-гиг}	200000	-	-	10	1	2000	-	10	-
ПДК _{рыб-хоз}	120000	10000	100	-	5	112	-	6	-
т. 2 (фон)	46000	2500	1,33	0,0009	0,061	0,083	0,0004	3,3	0,0009
т.5 (зона влияния)	<u>99000</u> 2,15	<u>6100</u> 2,44	<u>5,3</u> 3,98	<u>0,002</u> 2,22	<u>0,13</u> 2,13	<u>0,18</u> 2,17	<u>0,0011</u> 2,75	<u>6,4</u> 2,0	<u>0,0018</u> 2,0

Примечание: Жирным показаны превышения над фоновыми значениями

Индекс загрязнения для воды из скважины в зоне влияния площадки захоронения золошлаковых отходов (т.5) был рассчитан по 6 приоритетным загрязняющим веществам, значительно превышающим фоновые значения (Na, K, Rb, Cd, Sn, Pb) по формуле 3.3 и составил 0,4, что позволит отнести воду из скважины п. Площадка к 2 классу (чистая).

Анализ микроэлементного состава подземных вод, обнаруженных в наблюдательной скважине в зоне влияния свалки п. Сотниково (см. рисунок 3.6), показал превышение над фоновыми концентрациями для 58 химических элементов (из 72-х возможных), некоторые из них представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Химический состав подземных вод в наблюдательной скважине свалки п. Сотниково, мкг/дм³

Элемент	Концентрация элемента, в фоновой точке т. 1 (фон)	Концентрация элемента в зоне влияния свалки			Фильтрат на свалках ТКО (в среднем по миру [El-Fadel et al., 2002])
		т.6 (зона влияния) / K _к	ПДК _{сан-гиг} / доли ПДК	ПДК _{рыб-хоз} / доли ПДК	
Mn	13,5	560/41,5	100 / 5,6	10 / 56,0	50-1400
K	2200	16200 / 7,36	-	10 000 / 1,62	160-3370
Ca	58000	200000 / 3,45	-	180000 / 1,11	4080-5000
Mg	4800	350000 / 72,92	50 000 / 7,0	40 000 / 8,75	0-115600
Fe	36	36 000/1 000	300 / 120	100 / 360	0-42000
Na	160000	600000 / 3,75	200 000 / 3,0	120 000 / 5,0	0-8000
Ni	3,9	42 /10,77	20 / 2,1	10 / 4,2	0-7500

Продолжение таблицы 4.10

Элемент	Концентрация элемента, в фоновой точке т. 1 (фон)	Концентрация элемента в зоне влияния свалки			Фильтрат на свалках ТКО (в среднем по миру [El-Fadel et al., 2002])
		т.6 (зона влияния) / K_k	ПДК _{сан-гиг} / доли ПДК	ПДК _{рыб-хоз} / доли ПДК	
Cr	1,1	2,7 / 2,45	50 / 0,05	20 / 0,14	0-22500
Pb	0,58	7,3 / 12,59	10 / 0,73	6 / 1,22	0-14200
Cd	0,07	0,18 / 2,57	1 / 0,18	5 / 0,04	0-1160
Cu	5,9	15,3 / 2,59	1000 / 0,02	1 / 15,3	0-9900
As	0,13	6,6 / 50,77	10 / 0,66	50 / 0,13	-
Br	1050	4800 / 4,57	200 / 24,0	1350 / 3,56	-
Sr	2000	5300 / 2,65	7000 / 0,76	400 / 13,25	-
Zn	20	19 / 0,95	5000 / -	10 / 1,9	-
Co	0,34	5,2 / 15,3	100 / -	10 / 0,5	-
Sn	0,08	0,11 / 1,38	2000 / -	112 / -	-
V	0,66	5,7 / 8,64	100 / 0,06	1 / 5,7	-
Hg	0,25	0,34 / 1,36	0,5 / 0,68	0,01 / 34	-
Sb	0,11	1,03 / 9,36	5 / 0,21	-	-

Примечание: K_k – коэффициент концентрации

Подземная вода в наблюдательной скважине п. Сотниково характеризуется значительным загрязнением. Превышение фоновых значений для многих химических элементов (см. таблицу 4.10) варьирует от $K_k=1,36$ (Hg) до $K_k=1000$ (Fe). При этом для большинства химических элементов характерно превышение как санитарно-гигиенических, так и рыбо-хозяйственных норм ПДК. Сравнительный анализ микроэлементов в подземной воде на свалке и фильтрата с полигонов ТКО в мире показал, что концентрации химических элементов в исследуемой воде входят в диапазон концентраций, характерных для фильтрата, что свидетельствует о продолжающихся процессах образования фильтрата в теле свалки п. Сотниково и его влиянии на состав подземных вод.

Индекс загрязнения воды из наблюдательной скважины п. Сотниково (т.6), рассчитанный по 6 приоритетным загрязняющим веществам, значительно превышающим нормативы ПДК_{рыб-хоз} (Mn, Fe, Cu, Sr, Hg, Ni) по формуле 3.3 составил 80,5, что позволят отнести воду из скважины п. Сотниково к 7 классу (чрезвычайно грязная).

Анализ химического состава подземных вод в зоне влияния объектов размещения отходов позволил сделать следующие выводы:

- Захороненные отходы на свалках п. Стеклозавод, п. Площадка, падь Бабасанова не изменяют тип подземных вод, но при этом оказывают влияние на их химический состав, что выражается в повышении общей минерализации, содержания макро- и микроэлементов в воде относительно фоновых значений.
- Элементы, мигрирующие в подземные воды, тесно связаны с составом захороненных отходов.

– На свалке коммунальных отходов п. Сотниково обнаружено влияние фильтрата на подземные воды, что выражается в их повышенной минерализации (2,74 г/л), высоких концентрациях ионов Cl^- (852,57 мг/л), HCO_3^- (1213,04 мг/л), NH_4^+ (15,94 мг/л), Mg^{2+} (346,56 мг/л), а также ряда микроэлементов.

– Превышения ПДК_{сан-гиг} в контрольных точках выявлены

- для свалки п. Сотниково: NH_4^+ – в 10,6 раз; Mg^{2+} – в 6,9 раз; Cl^- – в 2,4 раз.
- для свалки в пади Бабасанова: Br^- – в 2,5 раза; F^- – в 1,7 раз; Mn – в 32 раза.
- для свалки п. Площадка: Mn – в 2,2 раза; NH_4^+ – в 3,0 раза; Li – в 1,4 раз.

– Превышения ПДК_{рыб-хоз} в контрольных точках выявлены:

- для свалки п. Сотниково: NH_4^+ и Cl^- – в 32 раза; Mg^{2+} – в 8,7 раз.
- для свалки в пади Бабасанова: Cu – в 8,3 раз; Zn – в 3,6 раз; F^- – в 3,4 раза; V – в 1,9 раз; Se – в 1,3 раз.
- для свалки п. Площадка: Mn – в 22 раза; NH_4^+ – в 9,0 раз; Sr – в 3,1 раза; Mg^{2+} – в 1,3 раза.

4.3 Химический состав испаряющейся влаги (конденсата)

Катионно-анионный состав конденсата (таблица 4.11) показал превышение ПДК_{рыб-хоз} по нитритам до 2,9 раз (на свалке п. Сотниково), фосфатам до 37 раз (на свалке п. Стеклозавод), иону аммония до 28 раз (на свалке пади Бабасанова), литию до 3,5 раз (на свалке п. Площадка). Однако нельзя утверждать, что выбор нормы ПДК для оценки уровня безопасности конденсируемой влаги является корректным. Санитарно-гигиенический норматив предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ в воде установлен прежде всего для природных вод, его также можно использовать для сточных и дренажных вод при оценке качества очистки перед их сбросом, однако химическая природа конденсируемой влаги отличается от природной подземной или поверхностной воды, поэтому более корректным при анализе конденсируемой влаги, будет сравнение с фоновыми показателями. Результаты анализа показали, что по всем показателям значения для проб, отобранных на теле свалок выше фоновых данных. Коэффициенты концентрации варьируются в диапазонах: от 1,18 (SO_4^{2-}) до 12,06 (NH_4^+) – для свалки п. Сотниково; от 1,4 (NO_3^-) до 7,57 (NH_4^+) – для свалки п. Стеклозавод; от 1,57 (Na^+) до 2,22 (K^+) – для свалки пади Бабасанова; от 1,39 (NH_4^+) до 3,76 (Ca^{2+}) – для свалки п. Площадка. Значительные превышения фоновых значений были зафиксированы в конденсате, отобранном в зоне влияния свалки пади Бабасанова (т. 7, см. рисунок 3.9), расположенной вблизи от тела свалки в естественном русле пересохшего ручья и потенциальной зоне слива поверхностных ливневых стоков с основной насыпи свалки.

Таблица 4.11 – Катионно-анионный состав конденсата на объектах размещения отходов Улан-Удэнской агломерации

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
п. Сотниково											
фон (т. 1)	0,77	1,56	0,28	-	0,08	0,9	0,26	0,53	0,72	0,45	1,92
свалка (т.4)	1,65	1,84	0,76	0,23	0,07	1,85	3,16	1,51	1,45	0,69	2,85
	2,14	1,18	2,71	-	0,88	2,06	12,15	2,85	2,01	1,53	1,48
п. Стеклозавод											
фон (т. 1)	1,31	2,16	0,23	-	0,04	0,05	0,40	0,92	1,17	0,38	1,32
свалка (т. 3)	2,62	2,57	0,60	0,20	0,04	0,09	3,02	3,46	0,79	0,55	2,68
	2,00	1,19	2,61	-	1,00	1,80	7,55	3,76	0,68	1,45	2,03
падь Бабасанова											
фон (т. 1)	0,85	0,50	0,19	-	0,03	-	1,17	0,70	0,36	0,22	1,67
свалка (т. 3-4)	1,36	0,87	0,31	0,12	0,06	-	1,92	1,56	0,56	0,46	3,29
	1,60	1,74	1,63	-	2,00	-	1,64	2,23	1,56	2,09	1,97
зона влияния (т. 8)	2,95	2,46	0,35	0,16	0,09	-	14,10	6,21	1,86	1,22	5,91
	3,47	4,92	1,84	-	3,00	-	12,05	8,87	5,17	5,55	3,54
п. Площадка											
фон (т. 1)	1,52	1,58	2,47	-	0,04	-	0,19	0,85	0,82	0,44	2,32
свалка (т. 4)	0,89	2,26	0,12	0,09	0,08	-	0,26	-	-	-	8,73
	0,59	1,43	0,05	-	2,00	-	1,37	-	-	-	3,76

Примечание: Нумерация площадок отбора проб см. на рисунках 3.6-3.9.

В числителе представлена концентрация, мг/л, в знаменателе – коэффициент концентрации относительно фонового значения на каждой модельной площадке. Выделение жирным шрифтом – превышения над фоновыми показателями.

Наиболее высокие коэффициенты концентрации (Кк) были выявлены в отношении азотсодержащих ионов (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻) и фосфат-ионов 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. На основании содержания азотсодержащих и фосфат-ионов в конденсате, было установлено, что интенсивность протекания биогеохимических процессов разложения отходов на свалках промышленных отходов ниже по сравнению со свалками коммунальных отходов в среднем на 65% (рисунок 4.5).

Концентрация азотсодержащих ионов в конденсате зависит не только от типа захороненных отходов, но и от сроков захоронения. Так, в конденсате, отобранном на «молодой» свалке ТКО (п. Сотниково) содержания NH₄⁺ (Кк – 12,6), NO₃⁻ (Кк – 2,75), NO₂⁻ (0,23 мг/л) были выше, чем на «старой» свалке ТКО (п. Стеклозавод) – NH₄⁺ (Кк – 7,57), NO₃⁻ (Кк – 1,40), что свидетельствует о продолжающейся фазе смешанного брожения на свалке п. Сотниково и завершающейся фазе анаэробного разложения на свалке п. Стеклозавод.

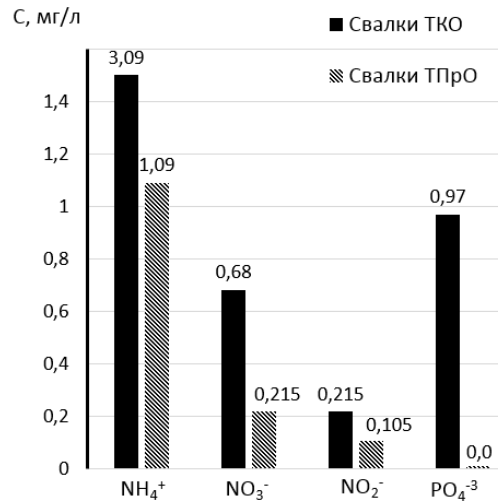
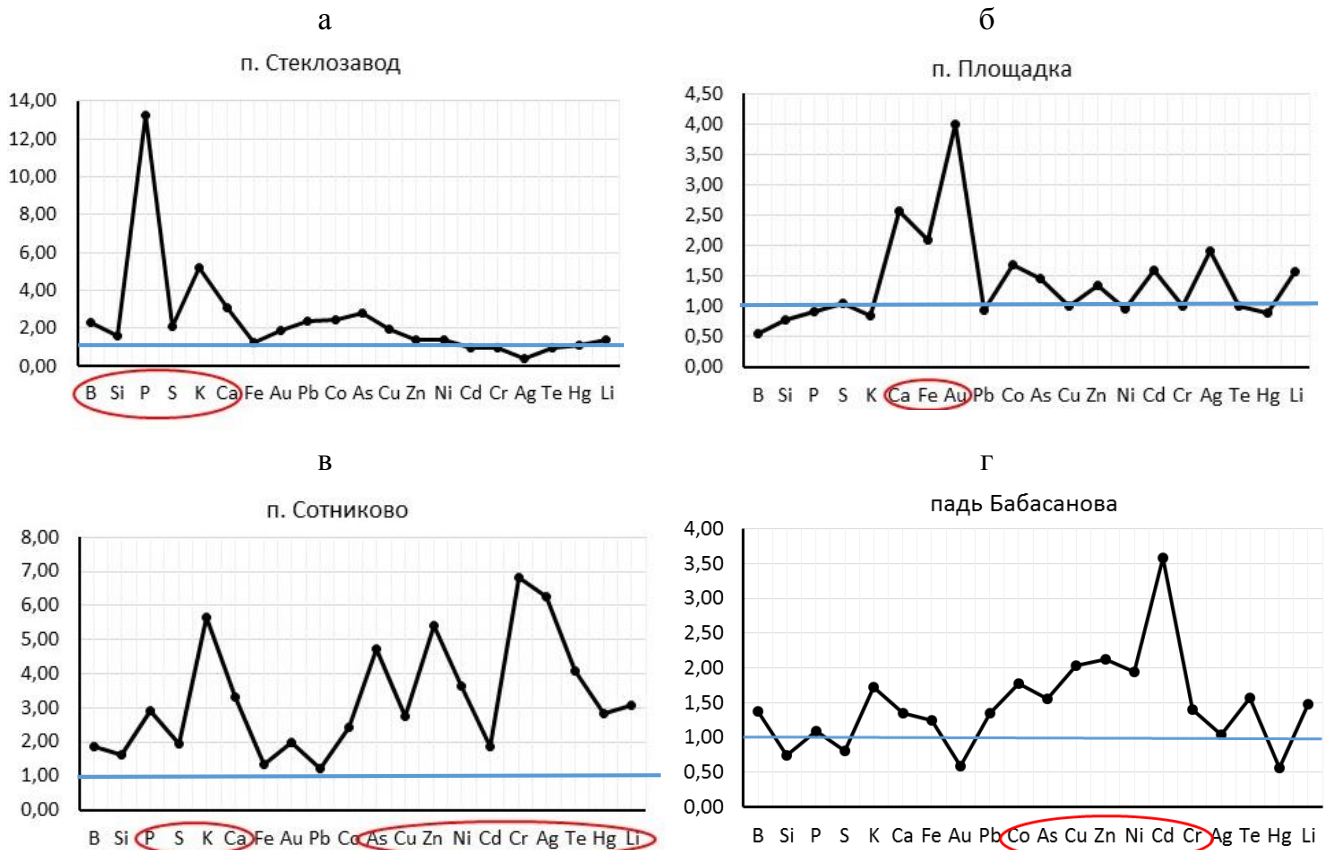


Рисунок 4.5 – Содержание (мг/л) ионов NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} в конденсате на свалках разных типов

При анализе микрокомпонентного состава конденсата, отобранного на свалках разного типа, было выявлено 20 химических элементов, по которым наблюдалось превышение над фоновыми значениями в 2 и более раз (рисунок 4.6).



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

Рисунок 4.6 – Коэффициенты концентрации (K_k) химических элементов в составе конденсата на свалках коммунальных (п. Сотниково, п. Стеклозавод) и промышленных (п. Площадка, падь Бабасанова) отходов

Для конденсата, отобранного на свалках ТКО, характерно повышенное относительно фоновых значений содержание биогенных элементов: В, Si, P, S, K, Ca (см.рис. 4.6 а, в). Повышенное содержание биогенных элементов в конденсате на свалках ТКО связано с активным протеканием процессов экологической сукцессии, которая проявляется на самозарастающих участках свалок, что особо наблюдается на «старой» свалке ТКО п.Стеклозавод, где Кк биогенных элементов варьируются от 1,63 (Si) до 13,24 (P). Вместе с тем, в конденсате со свалок коммунальных отходов были обнаружены высокие концентрации потенциально опасных химических элементов, при этом наибольшие концентрации были выявлены в конденсате на «молодой» свалке п. Сотниково, в котором наблюдались Кк = 2,0-6,8 по следующим химическим элементам: Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, Ag, Te, Hg, Li. В конденсате, отобранном на свалке золошлаковых отходов п. Площадка, были выявлены повышенные содержания Ca, Fe, Au (Кк = 2,08-2,56). Для конденсата, отобранного на свалке промышленных отходов в местности падь Бабасанова было характерно высокое содержание Cu, Zn, Ni, Cd (Кк = 1,94-3,58). Наличие потенциально опасных химических элементов в конденсате со свалок связано с составом захороненных отходов. В частности, для г. Улан-Удэ установлено, что в составе ТКО могут встречаться опасные компоненты, представленные батарейками, аккумуляторами, тарой от растворителей, ртутными лампами в количестве до 0,52 % от массы ТКО (см.табл. 1.1), которые в своем химическом составе содержат Cr, Ag, As, Te, Ni, Hg и др. потенциально опасные химические элементы. Выявленные в конденсате п. Площадка Ca, Fe, Au могут входить в состав золошлаков от сжигания углей [Таскин, 2014; Самбуева, 2020]. При изучении морфологического состава отходов, захораниваемых на полигоне промышленных отходов в местности падь Бабасанова, нами были проанализированы технологические процессы АО «Улан-Удэнский авиационный завод», являющегося основным поставщиком отходов на полигон. Выявлено, что при травлении алюминия в качестве отхода образуются шламы-алюминаты, при очистке гальванических стоков – осадки реагентных очистных сооружений. Данные отходы содержат в своем составе потенциально опасные химические элементы (таблица 4.12) и являются токсичными для окружающей среды. Таким образом, на химический состав испаряющейся влаги со свалок оказывает влияние состав захороненных отходов.

Таблица 4.12 – Химический состав отходов, потенциально захороненных на свалке промышленных отходов в местности падь Бабасанова

Технологический процесс	Образующиеся отходы	Химический состав отхода, %
Травление алюминия	Шламы-алюминаты	Si – 1,0, Al – 24,1, Mg – 0,1, Ca – 0,1, Fe – 0,39, Na – 1,38, Mn – 0,008, Ti – 0,01, Ni – 0,004, Co – 0,0003, Cr – 0,016, Pb – 0,005, Cu – 0,019, Cd – 0,0004, Zn – 0,007
Очистка гальванических стоков	Осадок реагентных очистных сооружений	Fe – 2,9, Al – 6,8, Cu – 0,31, Cr – 10,02, Zn – 0,31, Cd – 0,69, Ca – 6,4, Mg – 3,8, Na – 0,52, Ti – 0,08, Ni – 0,05, Pb – 0,1, Mn – 0,11, Co – 0,0012, Si – 5,04

Распределение РЗЭ в конденсате носит схожий характер распределения на всех изучаемых объектах размещения отходов (рисунок 4.7). Помимо повышенного содержания их по сравнению с фоновыми значениями, во всех пробах конденсата наблюдаются положительные аномалии Pr, Sm и Gd и преобладанием суммы «легких» РЗЭ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) над «тяжелыми» РЗЭ (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu).

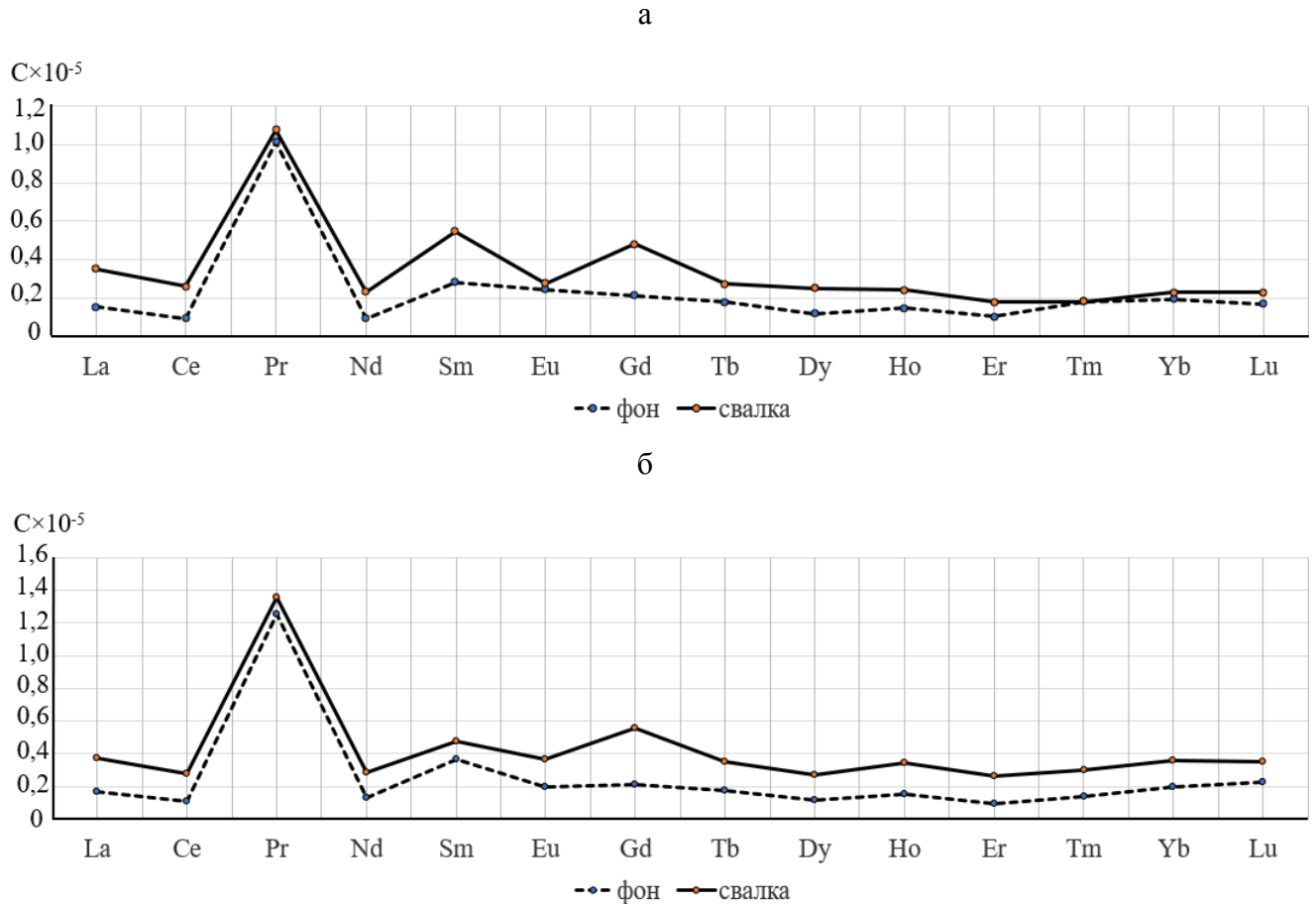
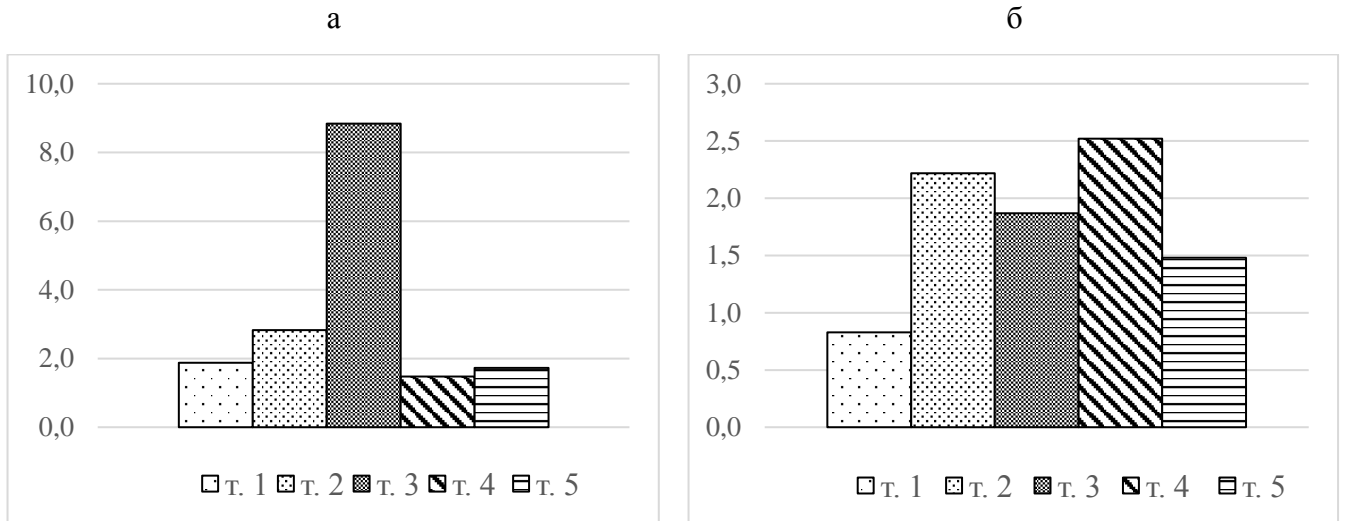


Рисунок 4.7 – Содержание РЗЭ (мкг/л) в конденсате на свалках п. Стеклозавод (а) и п. Площадка (б) (нормированы к NASC)

При расчете комплексного индекса загрязнения конденсата ($Z_c(k)$) (см. формулу 3.4) количество нормируемых показателей (n) было сформировано исходя из следующих позиций: к нормируемым элементам были отнесена группа тяжелых металлов [Реймерс, 1994], металлов, признанных остротоксичными [Филиппова, 2013], а также металлов, с повышенными концентрациями на свалках. В результате перечень нормируемых показателей составил 17 химических элементов Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg, V, Cr Ga, As, Ag, Te, U. Динамика изменения ИЗК по трансекте на свалках п. Сотниково и пади Бабасанова представлена на рисунке 4.8.



т. 1 – точка на окраине свалки, ближе к условному фону; т. 2 – точка в средней части свалки; т. 3 – точка на окраине свалки, ближе к зоне влияния, т. 4 – зона влияния рядом со свалкой, т. 5 – зона влияния на расстоянии 1-2 км.
* географические координаты точек отбора проб представлена в приложении А, схема расположения – на рисунках 3.6 (п. Сотниково), 3.9 (падь Бабасанова).

Рисунок 4.8 – Динамика изменения $Z_c(k)$ на свалках п. Сотниково (а) и пади Бабасанова (б)

Динамика изменения химического состава конденсата, отобранного по трансекте на свалках п. Сотниково и падь Бабасанова показала миграцию элементов, находящихся в теле свалки. Концентрация химических элементов в конденсате возрастала по трансекте по мере снижения естественного уклона местности и потока движения подземных вод от т. 1 до т. 3. Далее для свалки п. Сотниково было зафиксировано резкое снижение индекса загрязнения конденсата, а для конденсата, отобранного на свалке пади Бабасанова, напротив, $Z_c(k)$ достиг максимального значения, что объясняется возрастом рассматриваемых свалок. Свалка п. Сотниково является достаточно «молодой», в связи с чем все активные биогеохимические процессы протекают непосредственно в теле свалки. Свалка пади Бабасанова, напротив, является «старой» свалкой, и в связи с отсутствием должной рекультивации и обустройства изолирующего слоя, загрязняющие вещества вполне могли транспортироваться под действием перечисленных выше факторов в сторону понижения естественного рельефа местности и по ходу движения грунтовых и поверхностных вод.

Анализ химического состава конденсата, испаряющегося с поверхности тела объектов захоронения отходов Улан-Удэнской агломерации, позволил сделать следующие выводы:

- Концентрации большинства химических элементов в конденсате, отобранном на теле свалок, превышает условно-фоновые значения в 3-6 раз;
- Химический состав конденсата зависит от состава захороненных отходов и стадии их разложения в теле полигона;

– Концентрация химических элементов в конденсате возрастала по трансекте по мере снижения естественного уклона местности и потока движения подземных вод, что свидетельствует о миграции загрязняющих веществ по телу свалки и за его пределы.

В целом изучение химического состава конденсата является перспективным направлением при организации и проведении мониторинга окружающей среды на объектах размещения отходов.

4.4 Химический и минеральный состав снегового покрова

Глубина снежного покрова на рассматриваемых объектах размещения отходов за период мониторинговых исследований 2021-2022 гг. варьировалась в среднем от 10 до 26 см, 2022 г. был чуть более малоснежным по сравнению с 2021 г. Глубина снежного покрова на объектах размещения отходов, как правило, была ниже по сравнению с условно-фоновыми участками, что связано с расположением всех свалок на открытых хорошо проветриваемых территориях и выдуванием снега с их поверхности. Для объектов размещения отходов были рассчитаны пылевая нагрузка (см. формулу 3.5), коэффициенты концентрации пылевой нагрузки (см. формулу 3.6) и валовые выбросы пыли (т/год), поступающей в атмосферу от нерекультивированных свалок (таблица 4.13). Расчет валовых выбросов был проведен с учетом условно-фоновое загрязнение на каждой свалке, продолжительностью наличия устойчивого снегового покрова в зимний период, когда пыление невозможно и площади свалок.

Таблица 4.13 – Пылевая нагрузка, коэффициенты концентрации и валовый выброс пыли на объектах размещения промышленных и бытовых отходов Улан-Удэнской агломерации

Площадки отбора проб		Глубина снега, см		Пылевая нагрузка, P_n , $\text{мг/м}^2 \times \text{сут}$	Уровень загрязнения [Методические рекомендации, 1990]	Коэффициент концентрации, K_k	Валовый выброс пыли, т/год
		2021 г.	2022 г.				
п. Сотниково	фон	26,0	24,0	3,40	низкий	6,09	-
	свалка	20,3	17,0	20,7	низкий		0,121
п. Стеклозавод	фон	23,8	18,0	6,90	низкий	2,49	-
	свалка	17,8	18,5	17,2	низкий		1,616
падь Бабасанова	фон	17,0	17,5	6,90	низкий	4,08	-
	свалка	18,8	16,8	28,2	низкий		0,265
п. Площадка	фон	18,5	17,7	337,9	средний	1,70	-
	свалка	16,3	10,9	574,1	высокий		2,647

Пылевая нагрузка на территориях свалок коммунальных отходов в п. Сотниково и п. Стеклозавод, промышленных отходов в пади Бабасанова варьируется в диапазоне 6,9-28,2 $\text{мг/м}^2 \times \text{сут}$, что свидетельствует о низком уровне загрязнения снегового покрова [Методические рекомендации, 1990]. Это может быть связано с расположением рассматриваемых объектов вдали от круп-

ных источников выбросов загрязняющих веществ г. Улан-Удэ. Пылевая нагрузка на свалке золашлаковых отходов, напротив, характеризуется высоким уровнем загрязнения ($574,1 \text{ мг/м}^2 \times \text{сут}$), так как п. Площадка расположен в зоне влияния объектов теплоэнергетики и крупных промышленных предприятий города.

Коэффициенты концентрации пылевой нагрузки (K_k) на изучаемых объектах варьируются от 1,7 до 6,09 раз (см. таблицу 4.13). Стоит отметить, что для свалки п. Сотниково на фоне низкого уровня загрязнения снегового покрова ($P_n = 20,7 \text{ мг/м}^2 \times \text{сут}$) зафиксированы максимальные коэффициенты концентрации пыли ($K_k = 6,09$), в то время как на свалке п. Площадка, характеризующейся высоким уровнем загрязнения снегового покрова ($P_n = 574,1 \text{ мг/м}^2 \times \text{сут}$) выявлены низкие коэффициенты концентрации пыли ($K_k = 1,070$). Такая ситуация объясняется разным происхождением источника пыли на рассматриваемых объектах: на антропогенно-нагруженной территории п. Площадка основным источником пыли являются источники выбросов промышленных предприятий, поэтому на фоне их вклада в загрязнение атмосферного воздуха, привнос пыли от захораниваемых отходов не столь значителен.

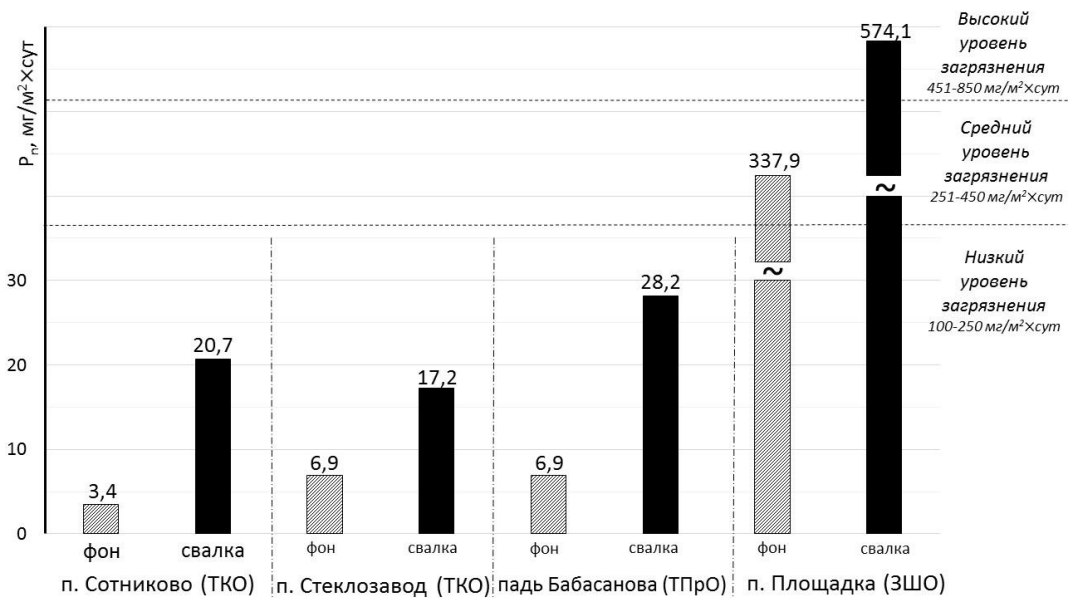


Рисунок 4.9 – Пылевая нагрузка на объектах размещения отходов Улан-Удэнской агломерации (данные за 2021-2022 гг.), $\text{мг/м}^2 \times \text{сут}$

Размеры частиц в нерастворимом осадке снегового покрова, отобранном на объектах размещения отходов и на условно-фоновых участках, варьируются в разных диапазонах (таблица 4.14). Размеры нерастворимых частиц в снеговом покрове с объектов размещения отходов варьируются в диапазоне от 50 нм до 315 мкм, а на условно-фоновых участках – от 124 мкм до 800 мкм. Значения усредненного и модального диаметров частиц так же подтверждают, что снеговой покров на свалках отходов характеризуется наличием частиц меньшего размера по сравнению с условно-фоновыми участками. В снеговом покрове, отобранном на всех объектах размещения

отходов, встречаются пылеватые частицы размером 2-50 мкм [ГОСТ 25100-2020] в количестве 28-87% и частицы размером менее 10 мкм, что негативно сказывается на здоровье населения, так как такие частицы [Стреляева, 2017] без препятствий проникают в легкие человека, неся в себе потенциальный риск заболеваний дыхательной системы человека.

Таблица 4.14 – Гранулометрический состав взвешенных 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})
п. Сотниково (n=10)	фон	800,000	124,111	296,774	280,460
	свалка	315,102	3,356	59,248	176,016
п. Стеклозавод (n=10)	фон	800,000	315,102	585,356	800,00
	свалка	315,102	3,356	81,030	110,467
падь Бабасанова (n=10)	фон	800,000	249,627	539,844	800,000
	свалка	315,102	8,521	83,596	139,441
п. Площадка (n=10)	свалка	110,467	0,051	17,506	34,469

Минеральный и морфологический состав частиц нерастворимого осадка снегового покрова были проанализированы с помощью растрового электронного микроскопа LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания). Морфологический состав частиц нерастворимого осадка снегового покрова представлен микросферами, глобулами, волокнами и частицами неправильной формы размерами от менее 1 мкм до 10^3 мкм (рисунок 4.10).

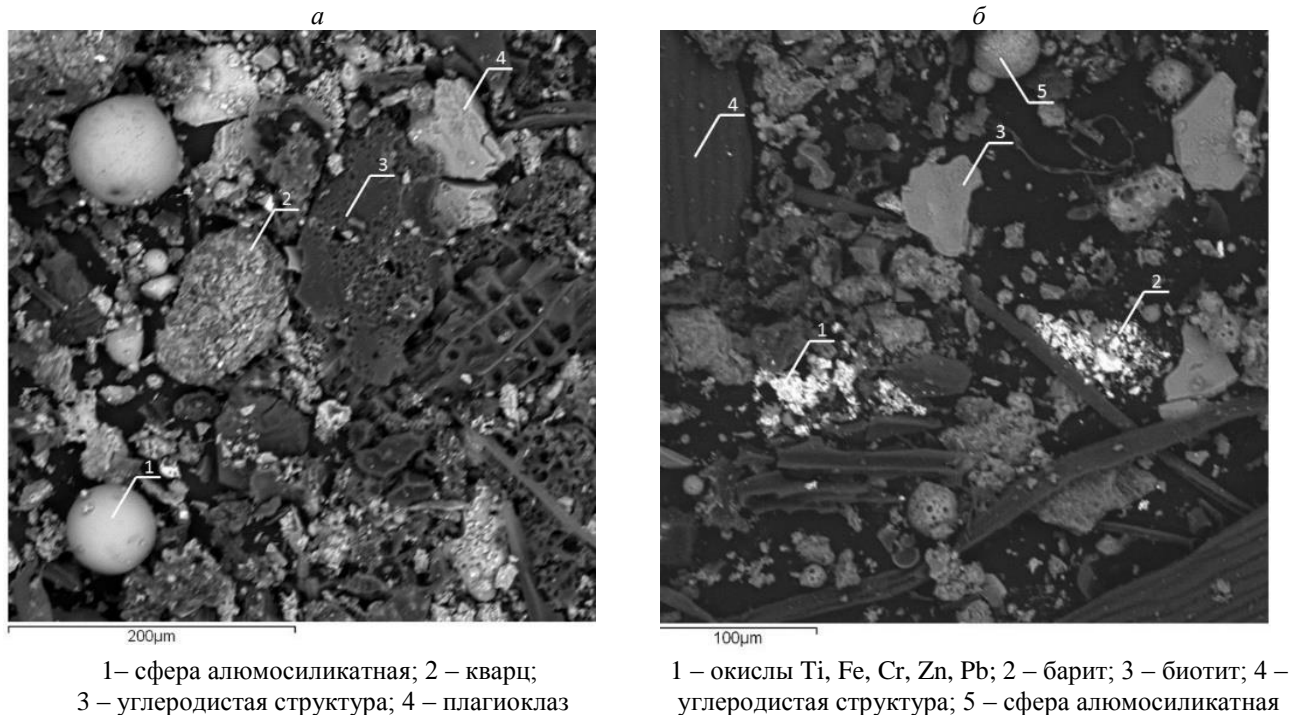


Рисунок 4.10 – Общий вид нерастворимого осадка снегового покрова на условно-фоновых участках (а), на свалках (б)

В снеговом покрове на территории свалок, в отличие от условно-фоновых участков, появляются частицы неправильной формы, на поверхности которых в виде включений фаз встречаются потенциально опасные химические элементы (рисунок 4.11).

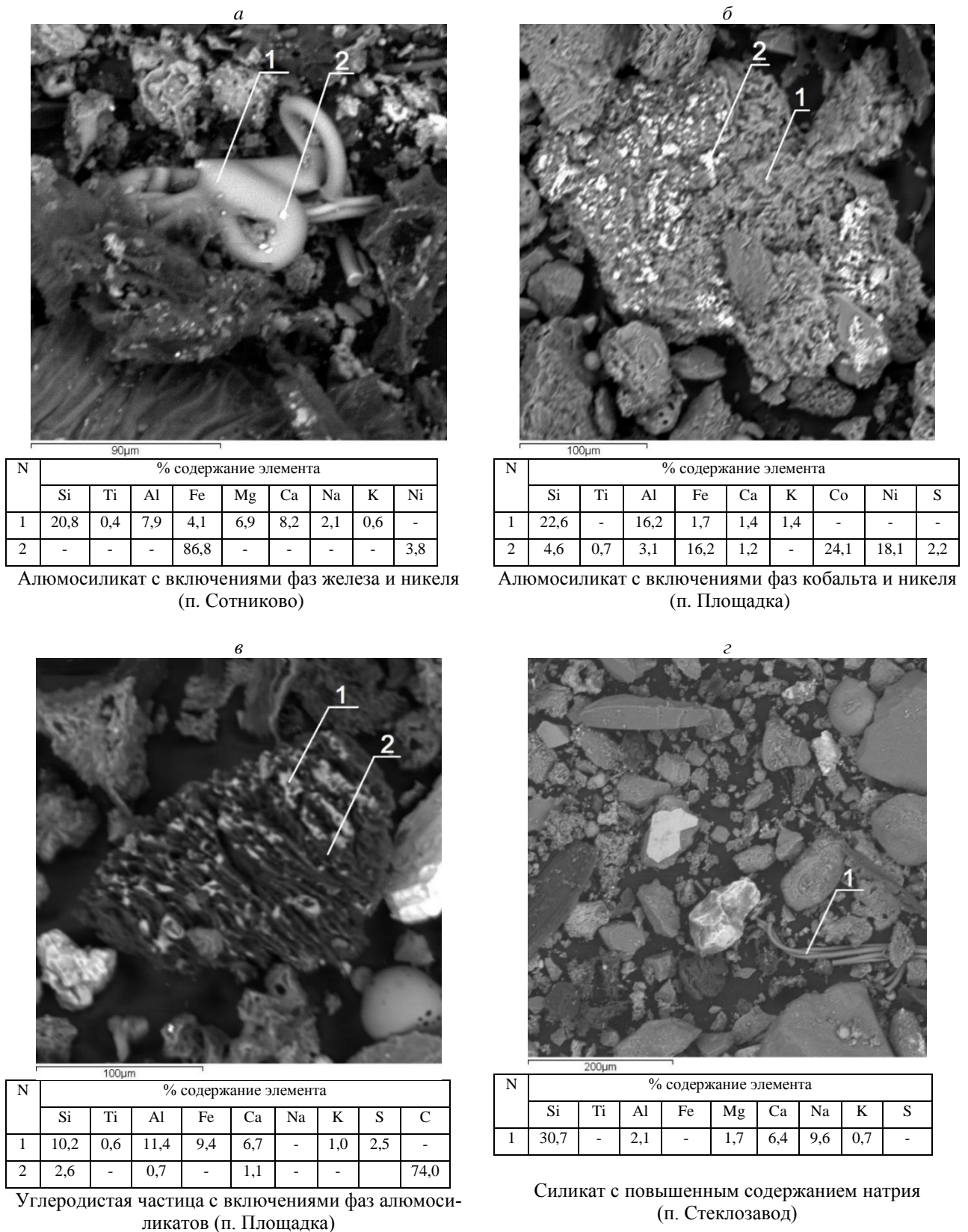


Рисунок 4.11 – Особенности морфологического строения и химический состав частиц нерастворимого осадка снега с территории свалок в пределах Улан-Удэнской агломерации

Например, на свалке п. Сотниково (рисунок 4.11а) были обнаружены алюмосиликатные частицы с включениями фаз железа и никеля, на свалке п. Площадка (рисунок 4.11б) – алюмосиликатные частицы с включениями фаз кобальта и никеля, а также углеродистые частицы, с включениями фаз алюмосиликатов (рисунок 4.11в), на свалке п. Стеклозавод – силикатный минерал в форме волокон с повышенным содержанием натрия (рисунок 4.11г).

Минеральный состав твердой фазы снегового покрова представлен частицами природного и техногенного происхождения. В некоторых работах [Радомская и др., 2018] отмечено, что элементы нерастворимого осадка снега имеют преимущественно терригенное происхождение и, как следствие, в твердом осадке снега преобладают породообразующие элементы, такие как алюминий, кальций, калий, железо, составляющие минеральные частицы класса силикатов. Действительно, результаты проведенного микроскопического анализа показали, что доминирующими минералами нерастворимого осадка снега на исследуемых участках являются кварц и различные алюмосиликаты (плаггиоклазы, амфиболы, эпидоты, каолиниты, калиевые полевые шпаты, биотиты, хлориты и др.). Вместе с тем, пробы снега богаты железистыми минералами, прежде всего магнетитом, а также пиритом и ильменитом, в пробах снега встречаются углеродистые структуры, представленные золами, шлаками и частицами несгоревшего топлива.

Доминирующий минеральный состав нерастворимого осадка снегового покрова представлен частицами природного происхождения, характерными для горных пород Байкальского региона: кварцем, различными алюмосиликатами (плаггиоклазы, амфиболы, эпидоты, каолиниты, калиевые полевые шпаты, биотиты, хлориты и др.) (таблица 4.15). 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 частицы. Вместе с тем в составе нерастворимого осадка снега на свалках были выявлены минералы, не свойственные условно-фоновым участкам (хромферит, пирофанит, халькозин и др.), поступление которых возможно с привозными поверхностными грунтами с тела свалок при захоронении отходов.

Таблица 4.15 – Доминирующий минеральный состав нерастворимого осадка снегового покрова

Минерал (группа)	п. Сотниково		п. Стеклозавод		падь Бабасанова		п. Площадка	
	фон	свалка	фон	свалка	фон	свалка	фон	свалка
Кварц (SiO ₂)	+	+	–	+	+	+	–	–
Плаггиоклазы (Na[AlSi ₃ O ₈]×Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈])	–	+	+	–	+	–	–	+
Альбит Na[AlSi ₃ O ₈]	–	–	–	–	–	+	–	–
Калиевый полевой шпат (Na, K, Ca)[AlSi ₃ O ₈]	–	+	–	+	–	+	–	–
Амфибол (Ca, Na) ₂₋₃ (Mg, Fe, Al) ₅ [(Si, Al)Si ₃ O ₁₁] ₂ [OH] ₂	–	+	–	–	–	–	–	–
Биотит (K(Mg, Fe) ₃ [Si ₃ AlO ₁₀])[OH,F] ₂	–	+	+	–	+	–	–	–

Продолжение таблицы 4.15

Минерал (группа)	п. Сотниково		п. Стеклозавод		падь Бабасанова		п. Площадка	
	фон	свалка	фон	свалка	фон	свалка	фон	свалка
Мусковит (KAl ₂ [AlSi ₃ O ₁₀][OH] ₂)	–	–	–	–	–	+	–	–
Хлорит (Mg,Fe) _x (Al,Fe) _x SiO ₁₀ [OH] ₈	–	+	–	–	–	–	+	–
Эпидот (Ca ₂ (AlFe) ₃ [Si ₂ O ₇][SiO ₄][OH])	+	+ Ce, La, Nd	–	–	+	+	–	–
Каолинит (Al ₄ [Si ₄ O ₁₀][OH] ₈)	+	–	–	–	+	+	–	+
Неидентифицированные алюмосиликаты в целом	+	+	+	+	+	+	+	+
Апатиты (Ca ₅ [PO ₄] ₃ (F, Cl))	+	+	–	–	+	+	–	–
Барит (BaSO ₄)	+	+	+	+	+	+	+	+
Углеродистые частицы	+	+	+	+	+	+	++	++
Магнетит (FeO+Fe ₂ O ₃)	+	+	+	+	+	+	++	++
Пирит (FeS ₂)	–	–	+	–	–	–	+	–
Гётит (HFeO ₂)	–	–	–	–	–	+	–	–
Сидерит FeCO ₃	+	+	–	–	–	–	–	+ Mn
Хромферид (Fe ₃ Cr _x),	–	+	–	–	–	–	–	–
Халькозин (Cu ₂ S)	–	–	–	–	–	+	–	–
Ильменит (FeO+TiO ₂)	–	+	–	+	–	–	–	–
Торит (ThSiO ₄)	+	–	–	+ U, Zr, Ce	–	–	–	–
Циркон (ZrSiO ₄)	–	+	–	+	–	–	–	–
Пирофанит (MnTiO ₃)	–	–	–	+	–	–	–	–
Касситерит (SnO ₂)	–	–	–	+	–	–	–	–
Рабдофан ((Ce, La, Nd, Th) (PO ₄)× H ₂ O)	–	–	–	–	–	+	–	–
Неидентифицированные соеди- нения, содержащие в себе же- лезо, хром, цинк, титан, медь)	–	–	–	–	–	+	–	–

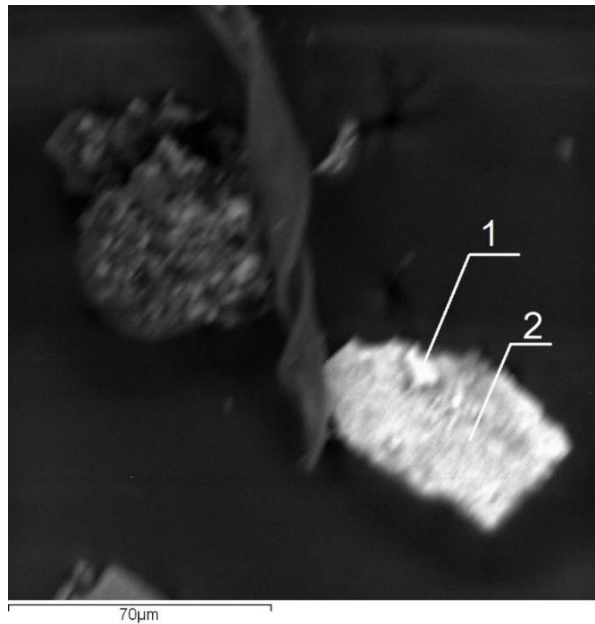
Примечание: – отсутствует; + частично присутствует; +Ce, La, Nd - частично присутствует с примесью элементов; ++ преобладает

В поверхностных грунтах нерекультивированных свалок создаются благоприятные условия для протекания окислительных процессов, что приводит к процессам вторичного минералообразования и отражается на минеральном составе нерастворимого осадка снегового покрова. К примеру, в нерастворимом осадке снега со свалки промышленных отходов в пади Бабасанова при значительном содержании железосодержащих минералов, в т.ч. магнетита, встречаются зерна гётита, для образования которого необходимы доступ кислорода, влаги и окислительная среда [Бетехтин, 1956]. При этом образование гётита может протекать по реакции (4.1):



Ещё одним проявлением вторичного минералообразования является преобразование халькозина, выявленное на свалке в пади Бабасанова. На рисунке 4.12 видно агломерацию из двух минералов, один из которых (1) является халькозином [Cu (79,4%), S (20,1%)], другой (2)

состоит из сульфата меди с примесью алюминия, фосфора, кремния [CuO (67,3%), SO₃(24,8%), Al₂O₃ (4,1%), SiO₂ (2,5%), P₂O₅ (1,2%)].



1 – халькозин; 2 – сульфат меди (с примесью алюминия, фосфора, кремния)

Рисунок 4.12 – Преобразование халькозина

Халькозин неустойчив в присутствии кислорода и поэтому в зоне гипергенеза халькозин, разрушаясь, переходит в куприт, малахит, азурит и другие кислородные соединения. При неполном окислении халькозина может быть образован сульфат меди и самородная медь по реакции (4.2):



Во всех исследуемых пробах нерастворимого осадка снегового покрова были зафиксированы микросферулы (рисунок 4.13) преимущественно алюмосиликатного (в т.ч. из плагиоклаза, эпидота, каолинита), железистого (в большинстве случаев из магнетита), углеродистого и кальциевого составов. Вместе с тем, были выявлены микросферулы сложной композиции, содержащие в себе на фоне алюмосиликатного состава примеси фосфора, бария, стронция, ванадия, железа, хлора, а также состоящие из оболочек разного состава: внутренняя алюмосиликатная и наружная углеродистая, либо углеродистая внутри и магнетитовая снаружи.

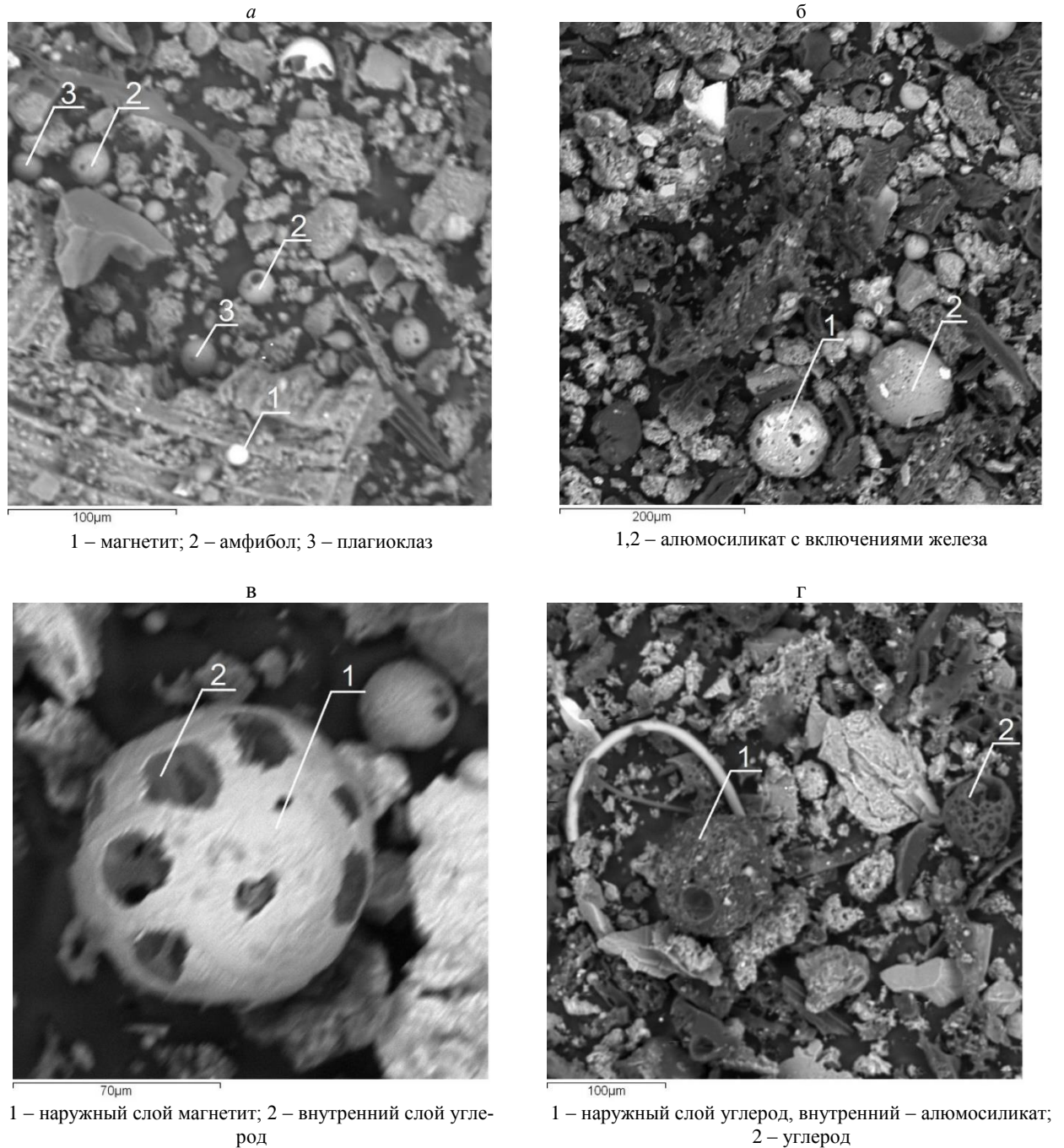


Рисунок 4.13 – Морфологический и минеральный состав микросферул в нерастворимом осадке снегового покрова на территориях объектов размещения отходов г. Улан-Удэ

Согласно исследований [Дрожжин, 2009; Тас-Оол и др., 2012; Адильбаева и др., 2017; Таловская, 2022], проведенным в г. Томск, г. Омск, г. Юрга, г. Северск и других городах юга Западной Сибири, микросферулы являются техногенными частицами, широко распространенными в зоне влияния объектов теплоэнергетики, так как образуются при сжигании угля и могут находиться в золе уноса [Кизильштейн и др., 1987]. Образование алюмосиликатных микросферул происходит в результате плавления минеральных компонентов при сжигании углей, их непосредственной миграции в газовом потоке и их раздува за счет захваченных газовых включений. В

связи с тем, что аэрозольные выбросы могут переноситься на 10-60 км в зависимости от высоты источников выброса, все изучаемые объекты размещения отходов могли попасть в зону влияния объектов теплоэнергетики, поэтому состав микросферул на всех отобранных площадках варьируется в одинаковых пределах. Значительных изменений в минеральном составе микросферул в снеговом покрове на объектах размещения отходов по сравнению с условно-фоновыми участками обнаружено не было. Хотя, было отмечено увеличение железистой составляющей в составе микросферул в нерастворимом осадке снега по ходу отбора проб от западной к восточной части г. Улан-Удэ. Так, в точках отбора, расположенных на западе города (п. Сотниково), преобладают микросферулы с «чистым» алюмосиликатным составом, зачастую, состоящие из эпидота, плагиоклаза, каолинита. В пробах снега, отобранных в восточной части города (п. Площадка, падь Бабасанова), напротив, наблюдаются микросферулы, состоящие из магнетита и других железистых соединений, содержащие в себе до 57-63 % железа. Такое распределение микросферул связано с вкладом источников загрязнения города и крупных котельных в загрязнение атмосферы и обогащение аэрозольных выбросов микросферулами железистого состава. Также вероятно, что в силу своего веса железистые микросферулы не относятся на значительные расстояния от источников выброса, а оседают вблизи их воздействия в радиусе нескольких километров.

Анализ макрокомпонентного состава снеговой воды был проведен по шестнадцати показателям (таблица 4.15): водородный показатель (рН), кремниевая кислота (H_2SiO_3), минерализация, перманганатная окисляемость (ПМО), ионы аммония (NH_4^+), калия (K^+), натрия (Na^+), магния (Mg^{2+}), кальция (Ca^{2+}), железо (Fe^{3+}), гидрокарбонаты (HCO_3^-), хлориды (Cl^-), нитриты (NO_2^-), сульфаты (SO_4^{2-}), нитраты (NO_3^-), фториды (F^-). В связи с отсутствием норм ПДК, утвержденных для снеговой воды, в качестве сравнительных значений при проведении анализа были выбраны концентрации веществ в снеговой воде оз. Байкал, полученные И.А. Белозерцевой в 2015 г. [Белозерцева, 2017] и ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения (ПДК_{рыб-хоз}) [Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 г № 552].

Мониторинг загрязнения снеговой воды показал относительное постоянство химического состава снежного покрова за рассмотренный период (2021-2022 гг.). В 2022 г. наблюдалась общая тенденция к понижению общей минерализации снеговой воды, обусловленной снижением концентрации катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , а также HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- анионов, концентрации по остальным показателям варьировались в пределах ошибки опыта. В целом снеговые воды были отнесены к слабо кислым (рН 4,2-6,56) ультрапресным водам, хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатным натриево-магниевым-кальциевым.

Участком, наиболее близким по составу к снеговой воде оз. Байкал, является фоновая площадка п. Сотниково. Концентрация SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и, как следствие, общая

минерализация снеговой воды, на условно-фоновой площадке п. Сотниково превышает аналогичные показатели снеговой воды Байкальской котловины, но концентрация ионов NH_4^+ , K^+ , Cl^- , NO_2^- , F^- , напротив, меньше значений, определенных в снеговой воде оз. Байкал. Сходство гидрохимических показателей снеговой воды условно-фоновой площадки п. Сотниково и котловины оз. Байкал, с учетом преобладающего северо-западного направления ветра, характерного для г. Улан-Удэ, свидетельствует об отсутствии специфических источников загрязнения атмосферы по ходу движения воздушных масс от оз. Байкал к городу. Наиболее загрязненным участком по сравнению со снеговой водой оз. Байкал является п. Площадка, на которой были зафиксированы превышения концентраций по сравнению со снеговой водой Байкала практически по всем анионам и катионам: NO_2^- – до 82 раз, SO_4^{2-} – до 6,6 раз, NO_3^- – до 8,8 раз, F^- – до 5,9 раз, Cl^- – до 1,5 раз, HCO_3^- – до 5 раз, K^+ – до 8,97 раз, Na^+ – до 4,8 раз, Mg^{2+} – до 15,7 раз, Ca^{2+} – до 8,2, Fe^{3+} – до 39,7 раз. Такое отличие катионно-анионного состава снеговой воды в данном районе связано с расположением п. Площадка в зоне с высокой антропогенной нагрузкой, выражающейся прежде всего, в выбросах от организованных и неорганизованных источников загрязнения атмосферы квартальных котельных и крупных промышленных предприятий г. Улан-Удэ.

Из всех проанализированных показателей в снеговой воде г. Улан-Удэ аномально высокими были значения ионов Fe^{3+} – до 39,72 раз по сравнению со снеговой водой оз. Байкал. Высокие содержания ионов Fe^{3+} были зафиксированы во всех исследуемых пробах. В целом же, превышение ПДК_{рыб-хоз} в снеговой воде выявлено по ионам Fe^{3+} (1,18-4,77 ПДК_{рыб-хоз}) и NO_2^- (1,06-30,75 ПДК_{рыб-хоз}). Наглядным показателем влияния захороненных отходов на анионно-катионный состав снеговой воды является коэффициент концентрации, показывающий изменение концентрации химических элементов в точках отбора проб на свалках относительно условно-фоновых участков (таблица 4.16).

Таблица 4.16 – Катионно-анионный состав снеговой воды на объектах размещения отходов Улан-Удэнской агломерации (данные за 2021-2022 гг.)

Площадки отбора проб	pH	H ₂ SiO ₃ , мг/л	Минерализация, мг/л	ПМО, мгО ₂ /л	Концентрация катионов, мг/л						Концентрация анионов, мг/л					
					NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ³⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻
снеговая вода оз. Байкал, (2015 г.)	6,43	-	11,1	-	0,16	0,29	0,52	0,31	1,54	0,012	4,14	3,33	0,03	3,7	0,16	0,09
ПДК _{рыб-хоз}	C _ф	-	-	-	0,50	50	120	40	180	0,1	-	300	0,08	100	40	C _ф +0,05 (до 0,75)
п. Сотниково																
фон	4,65	0,39	17,86	1,29	0,05	0,21	0,75	1,73	1,60	0,16	7,74	1,09	0,02	4,20	0,45	0,05
свалка	5,67	<u>0,40</u> 1,03	<u>20,27</u> 1,14	<u>1,89</u> 1,47	<u>0,03</u> 0,67	<u>1,00</u> 4,89	<u>1,02</u> 1,36	<u>0,99</u> 0,57	<u>1,60</u> 1,00	<u>0,22</u> 1,35	<u>5,56</u> 0,72	<u>1,30</u> 1,19	<u>0,05</u> 2,33	<u>4,49</u> 1,07	<u>1,17</u> 2,59	<u>0,07</u> 1,33
п. Стеклозавод																
фон	5,78	0,51	26,83	1,90	0,45	0,32	1,49	1,52	3,41	0,40	9,04	2,16	0,03	7,49	0,90	0,10
свалка	5,90	<u>0,41</u> 0,81	<u>25,14</u> 0,94	<u>2,03</u> 1,07	<u>0,26</u> 0,57	<u>1,74</u> 5,44	<u>1,14</u> 0,76	<u>1,44</u> 0,95	<u>2,20</u> 0,65	<u>0,29</u> 0,72	<u>7,79</u> 0,86	<u>2,62</u> 1,21	<u>0,03</u> 1,11	<u>6,52</u> 0,87	<u>1,08</u> 1,20	<u>0,05</u> 0,49
падь Бабасанова																
фон	6,02	0,40	14,69	1,45	0,22	0,34	1,04	1,31	1,20	0,12	3,89	2,02	0,09	3,95	0,75	0,08
свалка	5,80	<u>0,47</u> 1,17	<u>25,74</u> 1,75	<u>2,95</u> 2,03	<u>0,15</u> 0,70	<u>2,10</u> 6,18	<u>1,73</u> 1,66	<u>1,41</u> 1,08	<u>2,38</u> 1,98	<u>0,12</u> 0,98	<u>9,34</u> 2,40	<u>3,02</u> 1,50	<u>0,14</u> 1,62	<u>4,73</u> 1,20	<u>0,75</u> 1,00	<u>0,06</u> 0,80
п. Площадка																
фон	6,22	0,60	67,73	2,38	0,05	1,84	2,48	4,86	8,22	0,45	20,75	4,96	2,46	19,41	1,40	0,53
свалка	6,20	<u>0,59</u> 0,98	<u>67,13</u> 0,99	<u>2,78</u> 1,17	<u>0,09</u> 1,73	<u>2,60</u> 1,41	<u>1,51</u> 0,61	<u>1,86</u> 0,38	<u>12,55</u> 1,53	<u>0,48</u> 1,06	<u>18,22</u> 0,88	<u>2,69</u> 0,54	<u>0,69</u> 0,28	<u>24,51</u> 1,26	<u>1,17</u> 0,83	<u>0,47</u> 0,89

Примечание: В числителе представлена концентрация, мг/л, в знаменателе – коэффициент концентрации относительно условно-фоновое значение на каждой модельной площадке. Выделение жирным шрифтом – превышения над условно-фоновыми показателями. C_ф – фоновая концентрация.

Анализ рассчитанных коэффициентов концентрации показывает, что в целом катионно-анионный состав снеговой воды на свалках незначительно отличается от условно-фоновых участков. Отличительной особенностью для снеговой воды, отобранной на всех изучаемых участках, является повышенное содержание ионов K^+ (1,41-6,18 $C_{фон}$). При сопоставлении макрокомпонентного состава снеговых вод с техногенно-изменённых территорий с условно-фоновыми участками выявлено, что на территориях, подверженных техногенному изменению, наблюдается незначительный рост концентрации исследуемых показателей в большинстве случаев в 1,5 раза, что свидетельствует об отсутствии существенного влияния компонентов захороненных отходов на качество снегового покрова. Тем временем, большинство превышений над условно-фоновыми показателями выявлено для свалок, расположенных в п. Сотниково и пади Бабасанова, что может свидетельствовать об активных окислительных процессах, протекающих в теле указанных свалок. Концентрации некоторых микроэлементов в снеговой воде оз. Байкал превышает данные, полученные на условно-фоновых площадках в г. Улан-Удэ, к ним относятся: Be – до 63 раз, Ti – до 4,8 раз, V – до 5,5 раз, Cr – до 4,7 раз, Co – до 6,3 раз, Mo – до 15,9 раз, Cd – до 16,1 раз, Hg – до 9,3 раз, Pb – 6,3 раз (таблица 4.17). Такое превышение может быть связано с переносом загрязнённых воздушных масс с Иркутско-Черемховского и Южно-Байкальского промышленных узлов Байкальской природной территории и оседания значительной их части в границах акватории оз. Байкал. Вследствие чего концентрации многих элементов в воздушных массах, поступающих с акватории озера до г. Улан-Удэ, ниже показателей снеговой воды оз. Байкал. Немаловажным фактором, способствующим снижению содержания вышеперечисленных элементов на условно-фоновых площадках снегового покрова г. Улан-Удэ, является отсутствие крупных промышленных предприятий, выбрасывающих специфические загрязняющие вещества, по ходу движения воздушных масс от озера до города.

Таблица 4.17 – Содержание микроэлементов (мкг/л) в снеговой воде со свалок Улан-Удэнской агломерации (среднее за 2021-2022 гг.)

Площадки отбора проб	Наименование химических элементов																	
	Be	Al	Si	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Mo	Cd	Ba	Hg	Pb
Снеговая вода оз. Байкал, (2015 г.)	1	18	88	2	2	2	8	12	1	1	2	5	10	5	1	4	0,25	1,5
ПДК _{рыб-хоз}	0,3	40	-	60	1	20-70	10	100	10	10	1	10	400	1	5	740	0,1	6
п. Сотниково																		
фон	0,019	84,50	92,00	0,42	0,71	2,22	9,90	47,50	0,16	0,95	3,60	27,10	18,15	0,32	0,06	17,00	0,03	0,31
свалка	0,023	103,50	64,25	1,09	0,84	1,76	11,30	48,00	0,20	0,82	2,72	23,73	21,35	1,12	0,08	31,85	0,13	0,92
K _к	1,18	1,22	0,70	2,61	1,18	0,79	1,14	1,01	1,24	0,87	0,76	0,88	1,18	3,55	1,24	1,87	4,91	2,96
п. Стеклозавод																		
фон	0,030	125,0	150,0	0,52	1,05	0,48	14,90	64,00	0,25	1,03	2,80	18,80	24,00	5,10	0,12	48,00	0,06	0,66
свалка	0,019	94,67	41,33	1,28	1,11	1,21	16,37	50,23	0,26	1,13	3,50	22,63	53,00	0,77	0,06	25,67	0,03	0,92
K _к	0,62	0,76	0,28	2,46	1,05	2,53	1,10	0,78	1,03	1,10	1,25	1,20	2,21	0,015	0,50	0,53	0,52	1,40
падь Бабасанова																		
фон	0,016	54,00	77,00	0,31	0,37	1,58	12,40	26,00	0,17	0,69	1,25	15,60	32,90	1,45	0,07	30,50	0,046	0,24
свалка	0,035	116,50	76,50	2,58	1,14	1,23	29,93	78,00	0,34	2,02	5,30	33,00	47,50	5,52	0,22	28,00	0,048	0,85
K _к	2,17	2,16	0,99	8,46	3,11	0,78	2,41	3,00	1,98	2,92	4,26	2,12	1,44	3,82	3,05	0,92	1,05	3,57
п. Площадка																		
фон	0,052	126,00	250,00	1,15	1,89	0,43	124,0	29,00	1,26	3,00	0,20	23,00	280,00	4,60	0,15	77,00	0,10	0,35
свалка	0,034	177,33	139,67	2,13	2,41	1,20	148,0	35,33	1,13	3,07	3,11	27,67	263,33	9,13	0,18	73,67	0,05	0,44
K _к	0,66	1,41	0,56	1,86	1,28	2,79	1,19	1,22	0,90	1,02	15,57	1,20	0,94	1,99	1,18	0,96	0,51	1,26

Примечание: K_к – коэффициент концентрации относительно условно-фоновому значению на каждой модельной площадке. Выделение жирным шрифтом – превышения над условно-фоновыми показателями или ПДК.

Тем временем, по ходу движения воздушных масс, свой вклад в загрязнение атмосферы вносят печное отопление, угольные котельные населенных пунктов и автотранспорт, в результате чего концентрации элементов в снеге на условно-фоновых площадках г. Улан-Удэ превышает показатели байкальской снеговой воды по следующим элементам: Al – до 7 раз, Mn – до 15,5 раз, Fe – до 5,3 раз, Zn – до 5,4 раз, Sr – до 28 раз, Ba – до 19,3 раз. В целом снеговой покров над г. Улан-Удэ (по условно-фоновым точкам) не удовлетворяет требованиям ПДК_{рыб-хоз} по Al, V, Mn, Cu, Zn, Mo. Наибольшие загрязнения были зафиксированы на условно-фоновом участке п. Площадка, расположенном, как отмечалось ранее, в промышленном районе г. Улан-Удэ, подверженном интенсивному загрязнению атмосферного воздуха.

Сравнение концентраций химических элементов в снеге, отобранном на объектах размещения отходов с условно-фоновыми участками, показало, что в большинстве случаев снег на свалках содержит в своем составе повышенные концентрации химических элементов по сравнению с фоном. Из всех проанализированных элементов за 2021-2022 гг. на свалке п. Сотниково было выявлено превышение над условно-фоновыми показателями по 54 элементам, на свалке п. Стеклозавод – по 49 элементам, на свалке падь Бабасанова – по 63 элементам, на свалке п. Площадка – по 47 элементам. Максимальные превышения (в 3 и более раз) по большинству элементов были зафиксированы на свалке промышленных отходов в местности падь Бабасанова. Для данной свалки характерно превышение в снеге над условным фоном концентраций не только тяжелых металлов, но и радиоактивных элементов: Th – до 6,33 C_{фон}, U – до 5,35 C_{фон}. Отдельное внимание стоит уделить группе редкоземельных элементов, по которым были зафиксированы превышения над фоновыми значениями в снеге на всех изучаемых свалках (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Распределение радиоактивных (Th, U) и редкоземельных элементов в снеге на свалках Улан-Удэнской агломерации (данные за 2021-2022 гг.)

Площадки отбора проб	Концентрация $\times 10^{-2}$, мкг/л															
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U
п. Сотниково																
фон	1,05	1,45	0,23	0,85	0,65	0,19	0,24	0,05	0,23	0,05	0,15	0,03	0,20	0,04	0,49	1,00
свалка	4,05	7,60	1,18	3,90	1,40	0,36	1,05	0,13	0,78	0,18	0,45	0,09	0,63	0,10	0,96	2,48
K _к	3,86	5,24	5,22	4,59	2,15	1,91	4,47	2,78	3,37	3,55	2,98	3,27	3,13	2,50	1,96	2,48
п. Стеклозавод																
фон	1,70	3,30	0,47	2,40	1,30	0,32	0,50	0,07	0,50	0,09	0,42	0,06	0,30	0,07	0,01	0,02
свалка	6,43	13,03	1,42	5,37	1,56	0,36	1,47	0,19	1,20	0,30	0,76	0,13	0,76	0,12	0,01	0,03
K _к	3,78	3,95	3,03	2,24	1,20	1,13	2,95	2,67	2,41	3,33	1,80	2,16	2,54	1,75	1,75	1,67
падь Бабасанова																
фон	0,95	1,85	0,30	0,90	0,64	0,27	0,24	0,04	0,26	0,06	0,12	0,04	0,18	0,03	0,31	1,04
свалка	5,98	12,73	1,49	5,53	2,38	0,48	1,62	0,27	1,50	0,41	0,98	0,17	1,10	0,22	1,93	5,56
K _к	6,29	6,88	4,98	6,14	3,71	1,80	6,76	6,59	5,76	7,45	8,17	4,29	6,29	7,54	6,33	5,35

Продолжение таблицы 4.18

Площадки отбора проб	Концентрация $\times 10^{-2}$, мкг/л															
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U
п. Площадка																
фон	2,80	3,80	0,53	2,30	3,00	0,47	0,40	0,06	0,70	0,13	0,29	0,07	0,37	0,11	0,01	0,03
свалка	6,00	11,70	1,40	5,47	2,03	0,59	1,13	0,18	0,93	0,19	0,67	0,10	0,58	0,13	0,02	0,06
K_k	2,14	3,08	2,64	2,38	0,68	1,26	2,83	3,06	1,33	1,46	2,30	1,43	1,57	1,18	1,81	2,07

Распределение редкоземельных элементов в снеговой воде на всех рассмотренных участках носит схожий характер. Нормирование распределения РЗЭ относительно NASC (рисунок 4.14) показало наличие в атмосферных осадках положительных аномалий Sm и Eu.

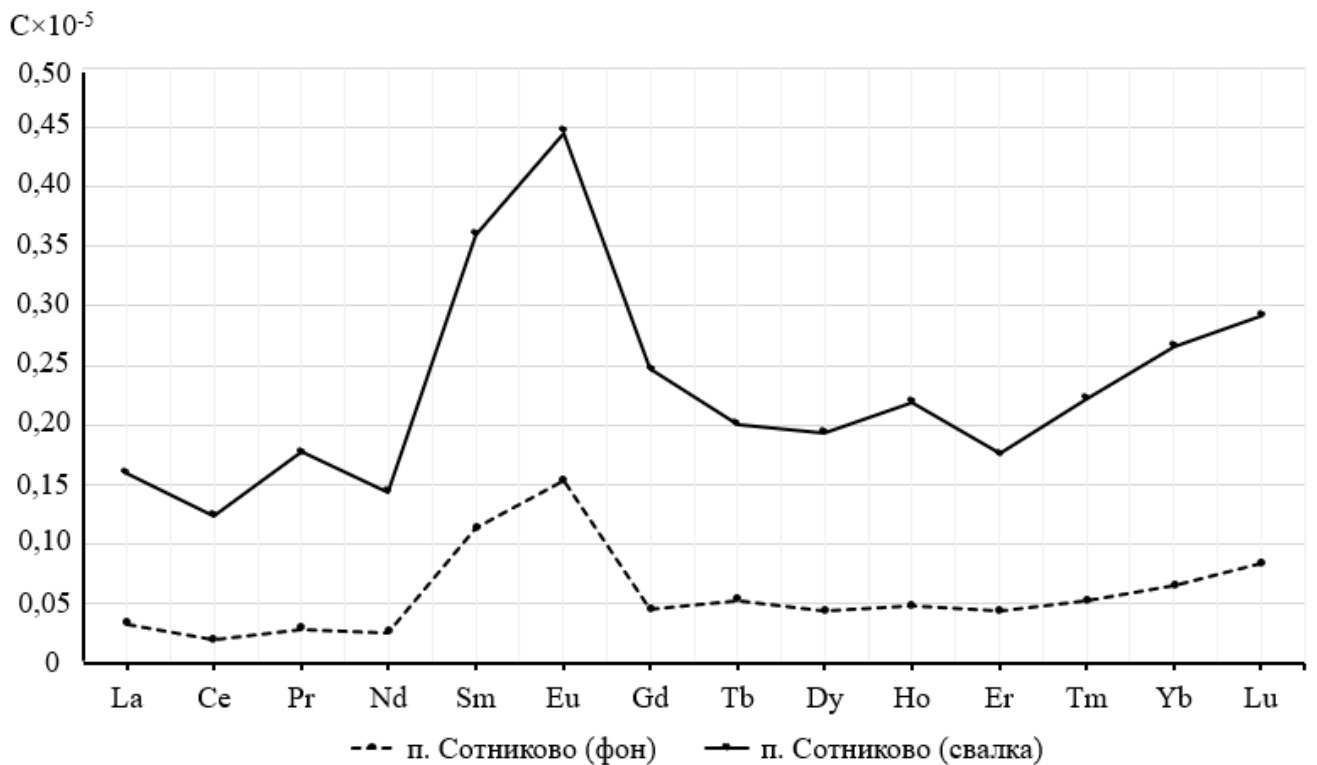
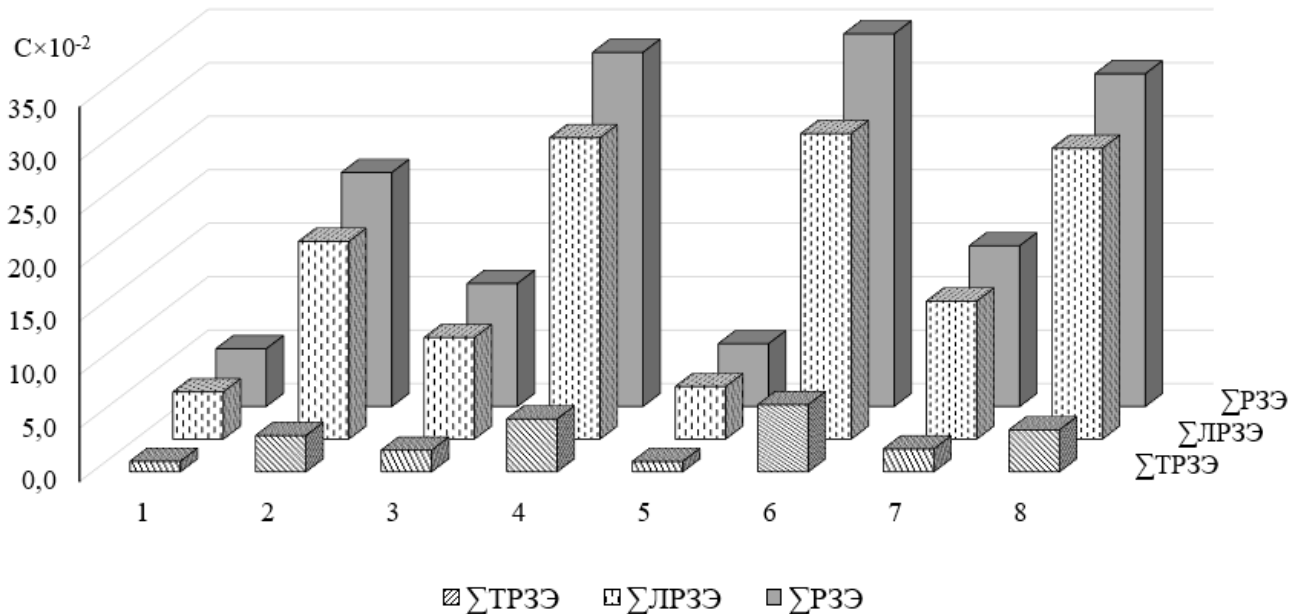


Рисунок 4.14 – Содержание РЗЭ (мкг/л) в снеговом покрове на примере свалки п. Сотниково (нормированы к NASC)

Сумма редкоземельных элементов в снеге на свалках (рисунок 4.15), значительно превышает условно-фоновые показатели. При этом отмечается увеличение содержания РЗЭ в снеге по мере приближения участка отбора проб к территориям с повышенным загрязнением атмосферного воздуха, к примеру сумма РЗЭ на условно-фоновых участках п. Сотниково и падь Бабасанова, находящихся вдали от источников выбросов загрязняющих веществ (печные трубы, котельные, автомобильные трассы) составляет $\sum \text{РЗЭ} = 5,39 \times 10^{-2}$ мкг/л (п. Сотниково) и $\sum \text{РЗЭ} = 5,87 \times 10^{-2}$ мкг/л (падь Бабасанова), в то время как условно-фоновые показатели п. Площадка и п. Стеклозавод, находящихся вблизи к антропогенным источникам загрязнения атмосферы, составили

$\Sigma PЗЭ = 15,03 \times 10^{-2}$ мкг/л (п. Площадка), $\Sigma PЗЭ = 11,5 \times 10^{-2}$ мкг/л (п. Стеклозавод). Суммарное содержание «легких» редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) в атмосферных осадках превышает суммарное содержание «тяжелых» редкоземельных элементов (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) в 4-6 раз.



1 – п. Сотниково (фон); 2 – п. Сотниково (свалка); 3 – п. Стеклозавод (фон); 4 – п. Стеклозавод (свалка); 5 – падь Бабасанова (фон), 6 – падь Бабасанова (свалка); 7 – п. Площадка (фон), 8 – п. Площадка (свалка)

Рисунок 4.15 – Суммарное распределение ($\Sigma PЗЭ$), в том числе «легких» ($\Sigma ЛРЗЭ$) и «тяжелых» ($\Sigma TRЗЭ$) в снеговом покрове на техногенно-измененных территориях Улан-Удэнской агломерации, мкг/л

Анализ химического и минерального состава снегового покрова на объектах размещения промышленных и коммунальных отходов, расположенных в границах Улан-Удэнской агломерации позволил сделать следующие выводы:

- Пылевая нагрузка на всех рассмотренных свалках превышает условно-фоновые показатели в 2-6 раз.
- Размер частиц пыли в нерастворимом осадке снегового покрова на свалках ($d_{50\%}$ 17-84 мкм) значительно меньше, чем за их пределами ($d_{50\%}$ 297-585 мкм).
- Нерекультивированные объекты складирования промышленных и бытовых отходов вносят свой вклад в аэрозольное загрязнение, обогащая нерастворимый осадок снегового покрова такими минералами как хромферид, пирофанит, касситерит, гётит, рабдофан, халькозин и др. В нерастворимом осадке снега со свалок активно наблюдаются процессы накопления на поверх-

ности каолинитовых или углеродистых структур фаз различных минералов и тяжелых металлов. В морфологическом составе нерастворимого осадка снегового покрова были выявлены частицы неправильной формы, глобулы, волокнистые частицы размерами от менее 1 мкм до 10^3 мкм. Во всех исследуемых пробах нерастворимого осадка снегового покрова были зафиксированы микросферулы преимущественно алюмосиликатного (в т.ч. из плагиоклаза, эпидота, каолинита), железистого (в большинстве случаев из магнетита), углеродистого и кальциевого составов. Вместе с тем, были выявлены микросферулы сложной композиции, содержащие в себе на фоне алюмосиликатного состава примеси фосфора, бария, стронция, ванадия, железа, хлора, а также состоящие из оболочек разного состава: внутренняя алюмосиликатная и наружная углеродистая, либо углеродистая внутри и магнетитовая снаружи.

– Снеговые воды в целом были отнесены к слабо-кислым (рН 4,2-6,56) ультрапресным водам, хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатным натриево-магниевым-кальциевым (по формуле Курлова М.Г.). Превышение норм ПДК_{рыб-хоз} в снеговой воде выявлено по ионам Fe^{3+} (1,18-4,77 ПДК_{рыб-хоз}) и NO_2^- (1,06-30,75 ПДК_{рыб-хоз}). Катионно-анионный состав снега, отобранного на свалках, незначительно отличается от условно-фоновых участков (превышение $C_{фон}$ в среднем составляет 1,5 раз), что свидетельствует об отсутствии существенного влияния компонентов захороненных отходов на качество снегового покрова. Тем временем большинство превышений над фоновыми показателями выявлено для объектов захоронения отходов, расположенных в п. Сотниково и пади Бабасанова, что может являться следствием активных окислительных процессов, протекающих в теле указанных свалок.

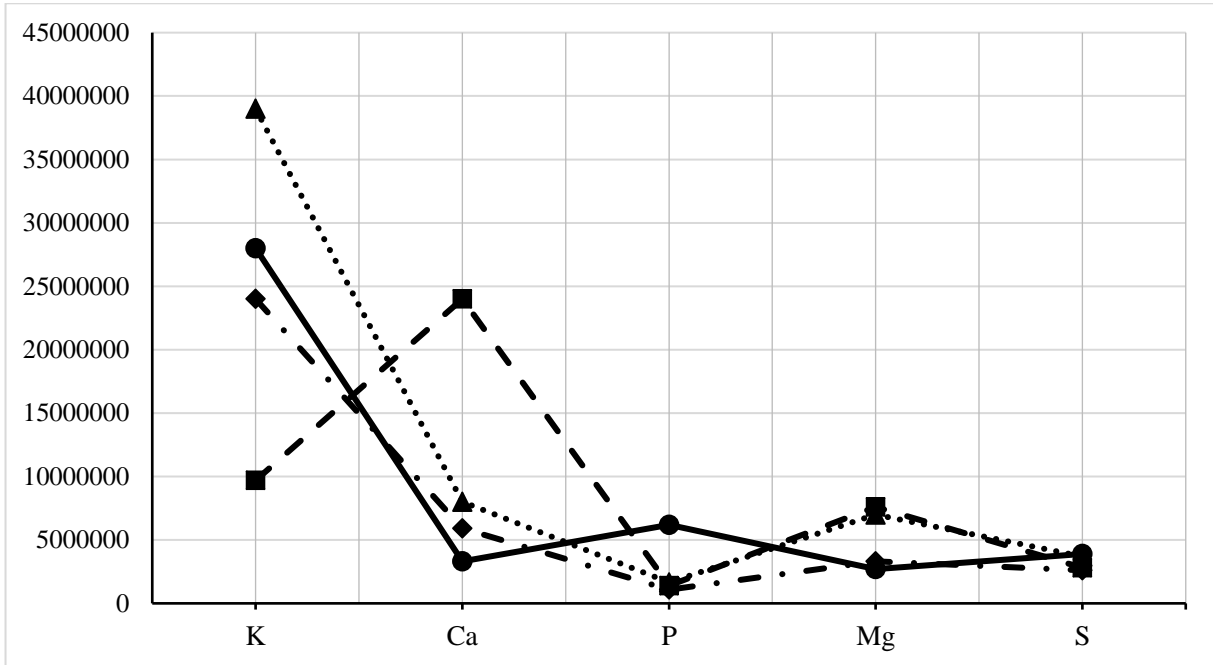
– Микрокомпонентный состав снеговых вод более наглядно отражает влияние объектов захоронения отходов на качество снегового покрова. Превышение содержания микроэлементов в снеговой воде над условно-фоновыми показателями по некоторым элементам (Cu, Ti, Th и др) достигало 6-15 раз. Превышение фоновых концентраций на всех рассмотренных свалках было выявлено по группе редкоземельных элементов, в среднем в 2-7 раз, наиболее высокие превышения были характерны для снегового покрова, отобранного на свалке промышленных отходов в местности пади Бабасанова.

4.5 Химический состав растений

При анализе распределения химических элементов в растениях, произрастаемых в зоне влияния объектов захоронения отходов Улан-Удэнской агломерации, было решено разбить их на группы в зависимости от их % массового содержания на макроэлементы, содержание которых более $10^{-2}\%$, микроэлементы с содержанием в растениях 10^{-2} - $10^{-5}\%$ и ультрамикроэлементы с со-

держанием в растениях менее $10^{-5}\%$. В основе данных подходов лежит классическое деление элементов на макро- и микро-группы [Битюцкий, 2020]. Распределение основных макроэлементов в составе растений разных видов (рисунок. 4.16а) не показало существенной разницы между растениями.

а



б

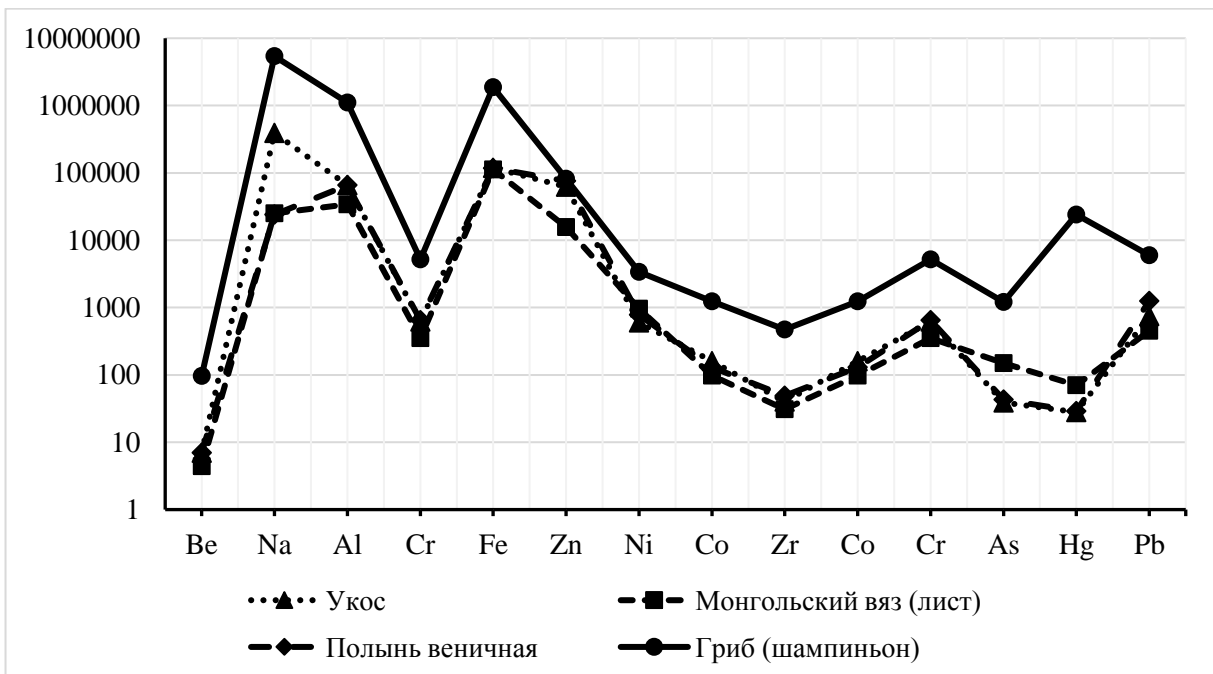


Рисунок 4.16 – Диаграмма распределения содержания макро-(а) и микро- (б) элементов (мкг/кг) в различных видах растений

Растения активно накапливают в своем составе биогенные калий и кальций, при этом укос характеризуется повышенным содержанием калия, поступление которого возможно, как из почвы, так и из атмосферных осадков [Никаноров, 2001], а древесные растения – повышенным содержанием кальция. Вместе с тем распределение микроэлементов в составе растений разных видов (рисунок 4.16б) наглядно показало разницу между травянистыми, древесными растениями и макромицетами. В грибах было зафиксировано максимальное содержание проанализированных элементов, превышающее аналогичные показатели для других видов растений на два и более порядка: Be, Na, Al, P, S, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Y, Zr, Nb, Ag, Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, U. Макромицеты в настоящее время активно изучаются многими учёными с точки зрения их использования в качестве индикаторов биомониторинга окружающей среды [Широких, 2009]. Отличительной особенностью биологии макромицетов является накопление некоторых химических элементов, в частности, тяжелых металлов, плодовыми телами в концентрациях, значительно более высоких, чем в окружающей среде [Горленко, 1983; Lepsova, 1988; Вугне, 1990; Вугне, 1991], что позволяет использовать их в качестве организмов-индикаторов на техногенно-нарушенных территориях. Единственным недостатком при использовании грибов на изучаемых объектах, является их слабая распространенность на теле свалок и отсутствие на выбранных фоновых участках. Указанный фактор на данном этапе исследований не позволил использовать грибы для дальнейшего изучения при организации мониторинга на объектах размещения отходов.

На основании изучения химического состава снегового покрова, конденсата и почвы/грунтов на объектах размещения отходов в качестве исследуемых микроэлементов в растениях было решено принять группу тяжелых металлов (по Реймерсу Н.Ф.) [Реймерс, 1994]: Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg, а также Cr. В целом распределение тяжёлых металлов в растениях, отобранных на свалках (таблица 4.19), находится в общемировых пределах [Kabata-Pendias et al, 2011] и не превышает максимально-допустимые уровни [МДУ, 1987], исключения составляют Zn, Cr (п. Площадка, падь Бабасанова), Cd (п. Стеклозавод, п. Площадка, падь Бабасанова), Cr (п. Площадка, падь Бабасанова) превышения МДУ по которым достигают 25 раз.

Максимальные концентрации тяжелых металлов были зафиксированы в растениях, отобранных на свалке промышленных отходов пади Бабасанова, характеризующейся чрезвычайно-опасной категорией загрязнения почв, превышения содержания потенциально опасных химических элементов над условным фоном на этой свалке варьировались от 1,3 (Ni) до 104,2 (Cd). На свалке п. Сотниково превышения концентрации тяжелых металлов над условным фоном варьировались от 1,1 (Cr) до 3,2 (Zn), на свалках п. Стеклозавод и п. Площадка – от 1,1 (Cr, Ni) до 7,7 (Zn).

Таблица 4.19 – Содержание тяжелых металлов (числитель, мкг/кг), коэффициенты концентрации (знаменатель, K_k) и суммарный индекс загрязнения ($Z_c(p)$) растений на свалках Улан-Удэнской агломерации

Местоположение	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Co	Sb	Sn	Bi	Hg	Cr	Z_c^p
п. Сотниково	$\frac{149}{1,2}$	$\frac{5000}{1,5}$	$\frac{13800}{3,2}$	$\frac{320}{2,0}$	$\frac{100}{1,7}$	$\frac{85}{2,1}$	$\frac{10}{2,6}$	$\frac{22}{1,2}$	$\frac{3,8}{2,0}$	$\frac{31}{0,9}$	$\frac{380}{0,9}$	9,5
п. Стеклозавод	$\frac{400}{3,7}$	$\frac{6000}{2,1}$	$\frac{29000}{5,9}$	$\frac{480}{1,1}$	$\frac{500}{6,8}$	$\frac{107}{1,3}$	$\frac{34}{2,6}$	$\frac{14}{1,4}$	$\frac{2,9}{2,4}$	$\frac{42}{7,0}$	$\frac{330}{1,1}$	25,4
п. Площадка	$\frac{820}{1,5}$	$\frac{8100}{1,9}$	$\frac{75000}{7,7}$	$\frac{1020}{1,4}$	$\frac{910}{3,8}$	$\frac{220}{3,1}$	$\frac{24}{1,2}$	$\frac{71}{2,0}$	$\frac{9,3}{3,6}$	$\frac{25}{0,9}$	$\frac{1490}{2,9}$	20,0
падь Бабасанова	$\frac{1250}{9,1}$	$\frac{14300}{1,9}$	$\frac{76000}{5,1}$	$\frac{780}{1,3}$	$\frac{7400}{104,2}$	$\frac{129}{1,8}$	$\frac{72}{6,5}$	$\frac{65}{3,3}$	$\frac{3,2}{2,1}$	$\frac{29}{1,5}$	$\frac{900}{3,0}$	129,8
Пределы колебаний в травянистых растениях [Kabata-Pendias et al, 2011], мкг/кг	100-10000	1000-33100	6000-80000	70-4800	30-1260	10-390	до 60	40-100	до 20	0,9-21	110-3400	-
Максимально допустимый уровень [МДУ, 1987], мкг/кг	5000	30000	50000	3000	300	1000	500	-	-	50	500	-

Очевидно, что на химический состав растений оказали влияние захороненные отходы, размещенные не только в зоне питания корней растений, но и в более глубоких горизонтах. На свалке п. Площадка – это золошлаковые отходы, на свалке п. Стеклозавод – коммунальные отходы, накапливающиеся в течение многих лет. Немаловажным фактором поступления химических элементов в растения является возраст свалки: на более старых свалках наблюдаются более высокие концентрации тяжелых металлов, чем на относительно «молодых».

Для составления ранжирующего ряда, отражающего содержание потенциально опасных элементов в растениях на разных свалках, по аналогии с суммарным показателем загрязнения почв (формула 3.2) был рассчитан суммарный показатель загрязнения растений ($Z_c(p)$). Рассматриваемые объекты захоронения отходов можно разместить в следующий сравнительный ряд (по уменьшению $Z_c(p)$):

$$\frac{\text{падь Бабасанова}}{Z_c(p)=129,8} > \frac{\text{п. Стеклозавод}}{Z_c(p)=25,4} > \frac{\text{п. Площадка}}{Z_c(p)=20,0} > \frac{\text{п. Сотниково}}{Z_c(p)=9,5}$$

Полученный сравнительный ряд отличается от аналогичного ряда, составленного для почв/грунтов, в частности свалка п. Сотниково характеризуется повышенным уровнем загрязнения почв, но пониженным уровнем содержанием тяжёлых металлов в растениях относительно фона по сравнению с другими свалками. Это может быть обусловлено меньшим объёмом отходов, размещенных на свалке п.Сотниково, по сравнению с остальными объектами захоронения отходов (см. раздел 3.1).

Для анализа миграции основных элементов в составе растений были составлены геохимические ряды распределения в зависимости от концентрации элемента в растении. В целом геохимические ряды макроэлементов на исследуемых участках в растениях значительно не отличались. В большинстве случаев распределение макроэлементов в укосе трав по убыванию было представлено следующим рядом: K>Ca>Cl>S>P>Mg>Si; в листьях ильма: Ca>K>Cl>Mg>P>S>Si.

Геохимические ряды распределения микроэлементов в растениях показали, что травянистые растения (укос, полынь) являются более показательными при изучении миграции микроэлементов по сравнению с листьями ильма. В распределении микроэлементов в листьях ильма не наблюдалось значительных изменений между контрольными и условно-фоновыми участками. Такая ситуация с одной стороны может быть связана со значительным влиянием газообразных соединений, оседающих на листьях деревьев, с другой стороны – с физиологическими особенностями травянистых растений и их коротким жизненным циклом.

Анализ геохимических рядов в укосе травянистых растений (таблица 4.20) показал повышенную миграцию ряда элементов, в растениях, отобранных на свалках, причем более интенсивное поглощение тяжелых металлов отмечено для растений, отобранных на «старых» свалках.

Таблица 4.20 - Геохимические ряды распределения микроэлементов в укосе травянистых растений Улан-Удэнской агломерации(в порядке убывания)

Местоположение		Геохимические ассоциации элементов
п. Сотниково	фон	Mn>Zn>Br>Cu>Mo>Ti>Rb>Cr>Sc>Ni>Pb>I>Li>V>Cd>Co
	свалка	Zn>Mn> Rb >Cu>Br>Ti>Mo> Li >Sc>Cr>Ni>Pb>V>I>Cd>Co
п. Стеклозавод	фон	Mn>Zn>Rb>Cu>Br>Ti>Sc>Ni>Cr>Mo>Pb>Li>V>Cd>I>Co
	свалка	Mn>Zn>Rb>Cu> Mo >Br>Ti> Cd > Pb >Sc>Cr>Ni>V>I>Li>Co
п. Площадка	фон	Mn>Zn>Mo>Cu>Br>Ti>Rb>Cr>Sc>Ni>I>Pb>Cd>V>Li>Co
	свалка	Zn>Mn> Rb> Br> Cu> Ti>Mo> Li >Cr> Cd >Ni>Sc>Pb>V>I>Co
падь Бабасанова (укос)	фон	Mn>Mo>Zn> Li >Br>Cu>Rb>Sc>Ti>Cr>Ni>Cd>Co>Pb>V>I
	свалка	Zn>Mn> Cu >Rb>Br> Cd >Mo>Ti> Pb >Cr>Ni>Li>V>Sc>Co>I
падь Бабасанова (полынь)	фон	Mn>Zn>Rb>Cu>Mo>Br>Ti>Ni> Li >Sc>Cr>Pb>I>V>Co>Cd
	свалка	Zn>Mn> Cu > Cd >Rb>Ti>Br>Mo> Pb >Ni<Cr<Sc>Li>V>Co>I

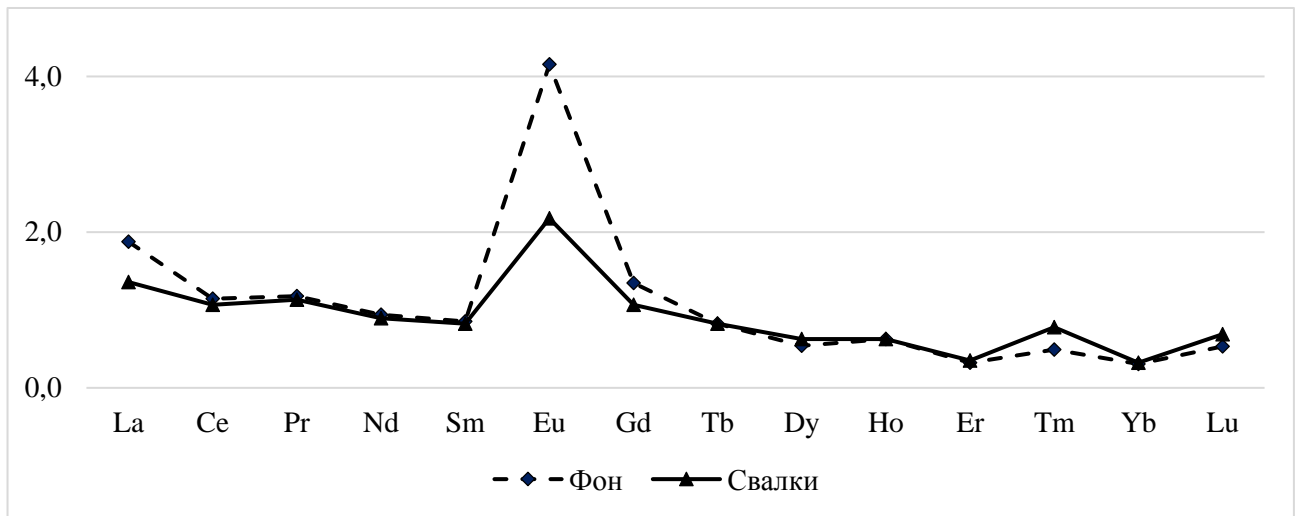
Миграция Cd в растениях на свалке п. Стеклозавод (см. таблицу 4.20) возросла на шесть позиций, Pb – на две, Mo – на пять, на свалке п. Площадка возросла миграция Cd на три позиции, на свалке пади Бабасанова в растениях наблюдались повышенные содержания Cu, Cd, Pb. Стоит отметить, что распределение элементов в растениях, отобранных на свалке пади Бабасанова, носит схожий характер, как для смеси трав в целом (укоса), так и отдельно для полыни, что является основанием для дальнейшего использования полыни – как растения-биоиндикатора на свалках.

Для растений, отобранных на «молодой» свалке п. Сотниково наблюдалась повышенная миграция лития. Миграция Li может быть связана с активным метаболизмом растений, произрастающих на свалке п. Сотниково. Многие авторы [Кашин, 2019; Бондарева, 2009; Ягодин, 1989] отмечают, что одной из важных специфических сторон физиологической роли Li является способность регулировать биосинтез и накопление алкалоидов. Участие Li в метаболизме азотистых веществ и нуклеиновых кислот повышает продуктивность растений, так необходимую растениям, произрастающим на теле свалки, находящейся на стадии активного биогехимического разложения отходов. Подтверждением данной гипотезы является высокое содержание и значительное превышение над фоном в растениях с данной свалки не только Li ($5,9-8,3 C_{\text{фон}}$), но и других активных, в том числе биогенных элементов: Na ($4,5-61,1 C_{\text{фон}}$), Mg ($2,9-3,7 C_{\text{фон}}$), S ($4,2 C_{\text{фон}}$), Cl ($3,2 C_{\text{фон}}$), K ($3,7-4,2 C_{\text{фон}}$), Ca ($1,7-1,9 C_{\text{фон}}$), наличие которых свидетельствует о продолжающейся фазе аэробного разложения отходов, способствующей интенсификации биохимических процессов в теле полигона с участием кислорода, приводящей к активному окислению компонентов мусора, и протекающим стадиям гидролиза и ацетогенеза органических компонентов ТКО в теле полигона [Зайцева, 2006].

К группе ультрамикрорезлементов в растениях были отнесены редкоземельные элементы. Для спектров распределения РЗЭ во всех пробах растений на свалках ТКО была выявлена положительная европиевая аномалия ($Eu/Eu^*=1,07-5,56$), содержание легких РЗЭ (от La до Eu) в целом превышало содержание тяжелых РЗЭ. Элементный состав растений, отобранных на свалках, характеризовался более низкими показателями содержания группы легких РЗЭ по сравнению с условно-фоновыми участками. Наибольшее суммарное содержание РЗЭ ($\sum \text{РЗЭ } 265,82-919,6 \text{ мкг/кг}$) было характерно для листьев ильма приземистого на условно-фоновых участках (рисунок 4.17).

Такое распределения РЗЭ в растениях позволяет предположить, что основным источником их поступления на рассматриваемых территориях являются нижние слои почвенных горизонтов и почвообразующей породы, до которых распространяются корни древесных растений. Этим же может объясняться и общая тенденция к повышенному содержанию всех РЗЭ на условно-фоновых участках относительно свалок – свалочное тело создает определенный барьер, который препятствует интенсивному проникновению РЗЭ из грунта основания свалки в растения. Само свалочное тело также может являться источником РЗЭ, приводя при этом к повышенному содержанию в растениях на свалках «тяжелых» РЗЭ.

а



б

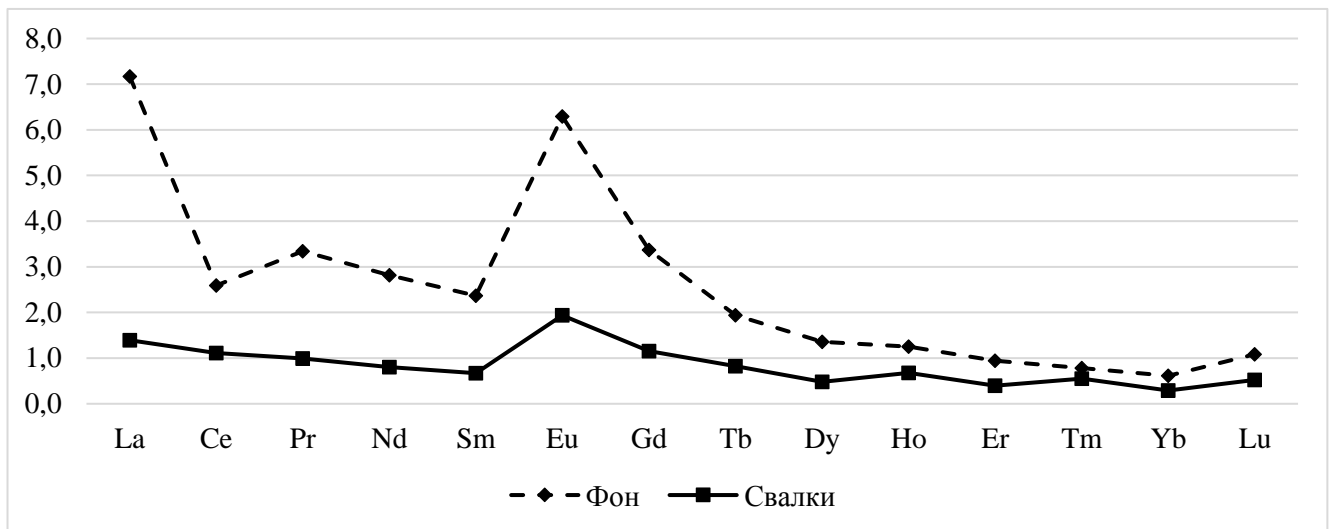


Рисунок 4.17 – Усредненное распределение содержания (10^{-3} мкг/кг) редкоземельных элементов в укосе (а) и древесных растениях (б), нормированное к NASC (среднее по свалкам ТКО)

Для оценки транслокации элементов из почвы в растения широко используется коэффициент биологического поглощения (КБП) по А.И. Перельману [Большунова, 2015; Седельникова, 2017; Холдаров, 2021] или аналогичный зарубежный показатель TF (Transfer Factor) [Alhogbi, 2023; Olabimtan, 2023]. КБП позволяет косвенно судить о степени доступности элемента для растений и его поведении в системе «среда-растение». С целью изучения доступности химических элементов в системах «почва/грунт-растение» и «конденсат-растение» для всех исследуемых участков были рассчитаны коэффициенты поглощения химических элементов из почвы/грунта (КБП) и из конденсата (КБП(К)), расчет которого проводился по аналогии с КБП (таблица 4.21).

Таблица 4.21 – Результаты расчета коэффициентов биологического поглощения химических элементов из почвы/грунта и конденсата на объектах размещения отходов

Местопо- ложе- ние	Среда	Cr	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Co	Sb	Sn	Bi	Hg
Концентрации химических элементов в разных средах												
п. Сот- ни- ково	растения, мкг/кг	380	149	5000	13800	320	100	85	10	22	3,8	31
	конден- сат, мкг/л	0,7	0,69	6,8	13,2	0,97	0,056	0,124	0,095	0,15	0,007	0,1
	почва мг/кг	79	31	38	184	35	0,5*	22	1,0*	1,0*	-	-
п. Стек- лоза- вод	растения, мкг/кг	330	400	6000	29000	480	500	107	34	14	2,9	42
	конден- сат, мкг/л	0,93	1,63	5,8	23	1,15	0,07	0,153	0,21	0,046	0,008	0,11
	почва мг/кг	44	75	17	86	20	0,5*	20	1,0*	1,0*	-	-
п. Пло- щадка	растения, мкг/кг	950	820	8100	75000	1020	910	220	24	71	9,3	25
	конден- сат, мкг/л	1,55	6,4	1,09	4,5	2,2	0,13	0,62	0,12	0,18	0,0033	1,4
	почва мг/кг	36	23	21	60	20	0,5*	11	1,0*	1,0*	-	-
падь Баба- са- нова	растения, мкг/кг	900	1250	14300	76000	780	7400	129	72	65	3,2	29
	конден- сат, мкг/л	1,09	1,79	7,8	26	1,7	0,18	0,23	0,25	0,096	0,009	0,09
	почва мг/кг	451	735	1447	3147	146	45	33	47	229	-	-
Коэффициент биологического поглощения из почвы/грунта (КБП)												
п. Сотниково		0,005	0,005	0,132	0,075	0,009	0,200	0,004	0,010	0,022	-	-
п. Стеклозавод		0,008	0,005	0,353	0,337	0,024	1,000	0,005	0,034	0,014	-	-
п. Площадка		0,026	0,036	0,386	1,250	0,051	1,820	0,020	0,024	0,071	-	-
падь Бабасанова		0,002	0,002	0,010	0,024	0,005	0,164	0,004	0,002	0,0003	-	-
Степень биологи- ческого поглоще- ния (по А.И. Перельману)	сла- бый за- хват	сла- бый за- хват	сред- ний за- хват	сильное накоп- ление	сла- бый за- хват	сильное накоп- ление	сла- бый за- хват	сла- бый за- хват	сла- бый за- хват	сла- бый за- хват	-	-
	КБП <0,1	КБП <0,1	КБП 0,1-1	КБП 1- 10	КБП <0,1	КБП 1- 10	КБП <0,1	КБП <0,1	КБП <0,1	КБП <0,1	-	-
Коэффициент биологического поглощения из конденсата (КБП (К))												
п. Сотниково		542,9	215,9	735,3	1045,5	329,9	1785,7	685,5	105,3	146,7	542,9	310,0
п. Стеклозавод		354,8	245,4	1034,5	1260,9	417,4	7142,9	699,3	161,9	304,3	362,5	381,8
п. Площадка		612,9	128,1	7431,2	16667	463,6	7000,0	354,8	200,0	394,4	2818	17,9
падь Бабасанова		825,7	698,3	1833,3	2923,1	458,8	41111,1	560,9	288,0	677,1	355,6	322,2

*Примечание: принята половина нижнего предела определения содержания химического элемента

Полученные расчётные значения КБП для группы изучаемых химических элементов, в основном, соответствуют рядам биологического поглощения, разработанным Б.Б. Полюновым и доработанным А.И. Перельманом: халькофильные элементы Zn, Cd характеризуются сильным накоплением (КБП 1-10), Cu – слабым накоплением и средним захватом (КБП 0,1-1), остальные

химические элементы (Cr, Pb, Ni, Co, Sb, Sn) характеризуются слабым захватом из почвы/грунтов. Диапазон изменения КБП на объектах размещения отходов разного возраста показал, что для наиболее «старых» и наиболее «закрытых» объектах (п. Стеклозавод, п. Площадка) эти коэффициенты выше, чем на «молодых» и «открытых» объектах (п. Сотниково). На свалке промышленных отходов в местности падь Бабасанова, на фоне высокой степени загрязненности почв, концентрации изучаемой группы химических элементов в растениях находятся на уровне п. Площадка, что скорее может быть связано с работой барьерных механизмов в корнях растений, препятствующих поступлению потенциально опасных химических элементов в токсичных концентрациях в надземные части растений, либо нахождением исследуемых элементов в почвах в малоподвижной форме.

Коэффициенты биологического поглощения химических элементов растениями из конденсата (КБП(К)) на несколько порядков выше КБП, что объясняется содержанием химических элементов в водорастворимой подвижной форме, которая лучше усваивается растениями. При этом по величине коэффициентов биологического поглощения, объекты размещения отходов можно составить в следующий ранжирующий ряд (по уменьшению КБП, КБП(К)): падь Бабасанова > п. Площадка > п. Стеклозавод > п. Сотниково (рисунок 4.18).

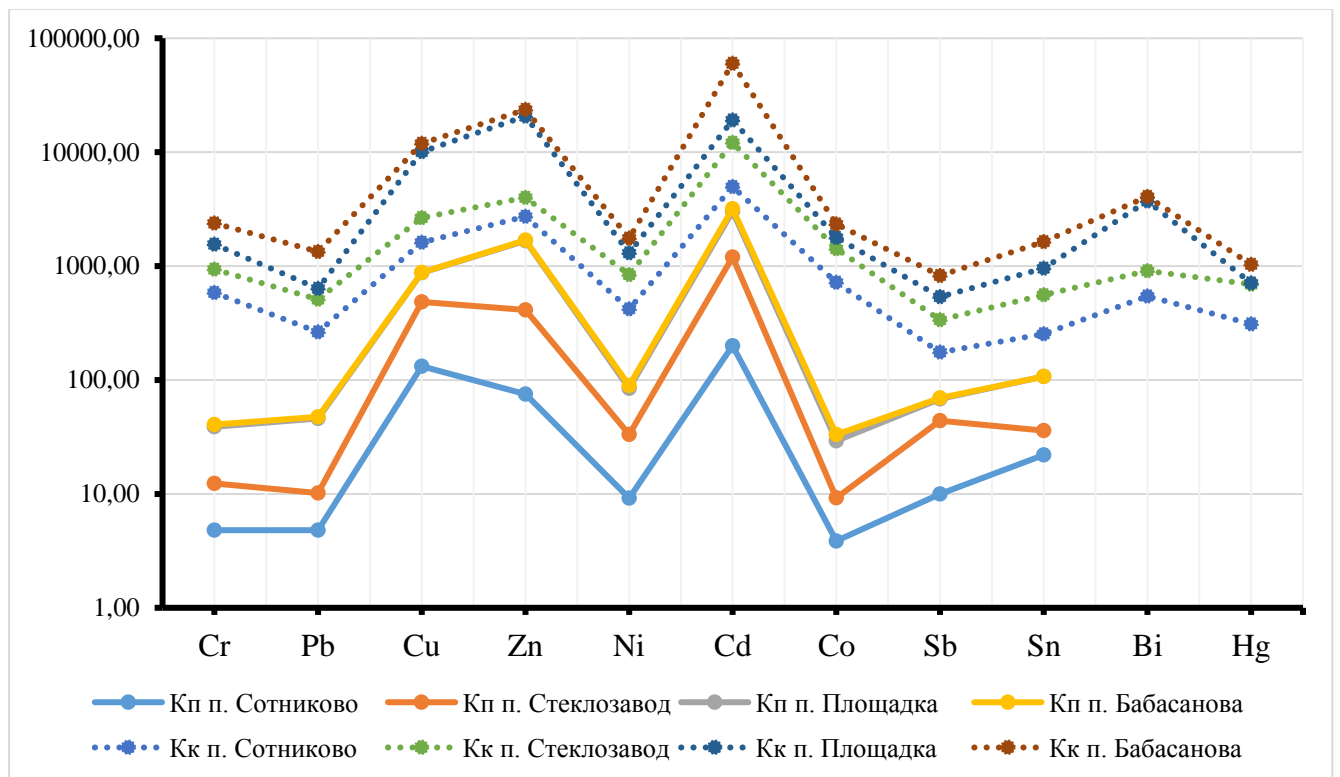


Рисунок 4.18 – Коэффициенты биологического поглощения из почвы ($K_p \times 10^{-3}$) и конденсата (K_k) на различных объектах размещения отходов Улан-Удэнской агломерации

В целом анализ содержания тяжёлых металлов в почве, растениях и конденсате показал схожий характер их распределения в исследуемых средах. В качестве примера на рисунке 4.19 представлены графики распределения тяжёлых металлов в почве, конденсате и растениях на свалке и условно-фоновом участке п. Сотниково.

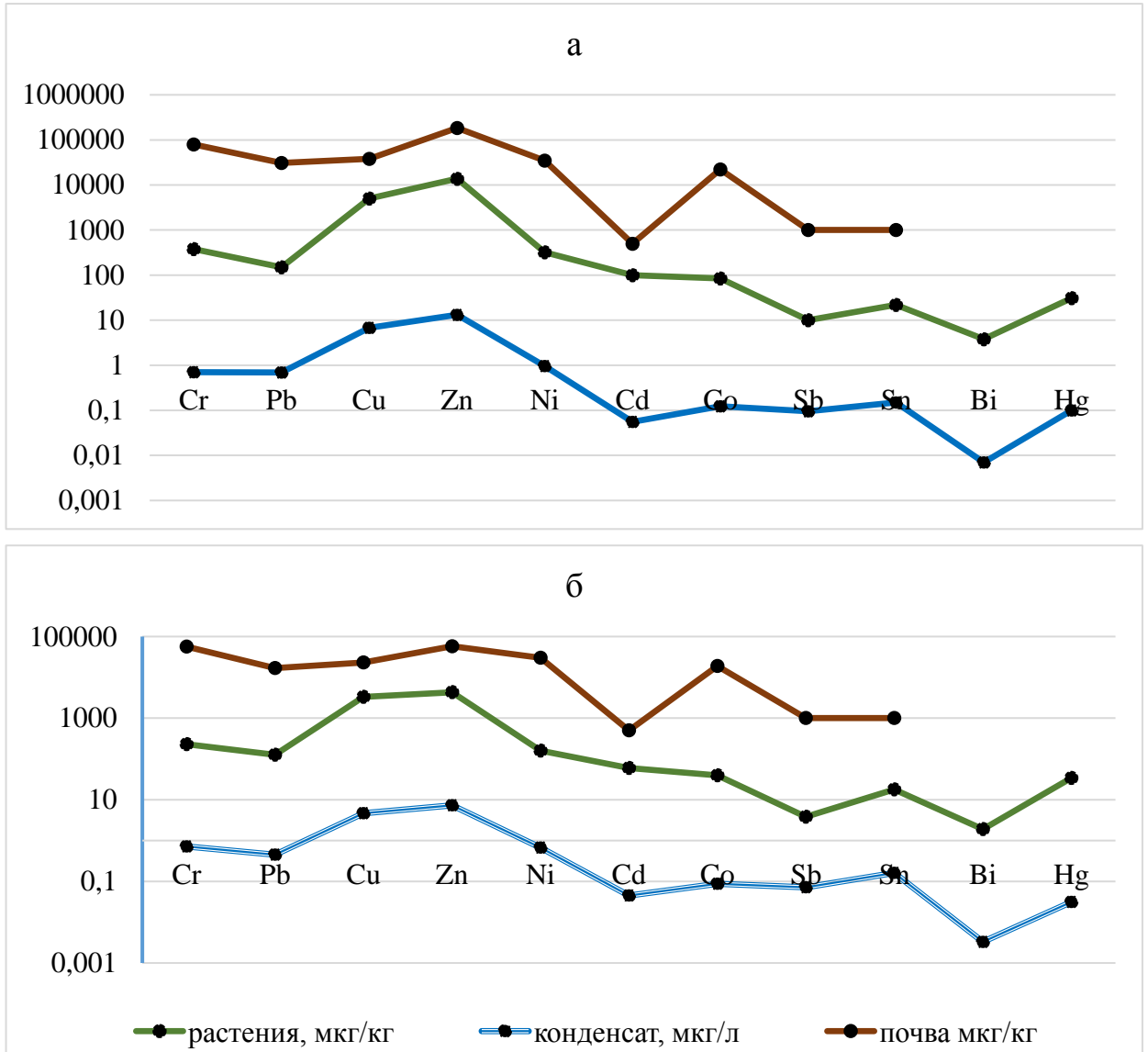


Рисунок 4.19 – Распределение тяжёлых металлов в системе «почва/грунт-конденсат-растения» на свалке (а) и условно-фоновом участке (б) на примере свалки п. Сотниково

Для более подробного анализа распределения тяжёлых металлов в системе «почва/грунт-конденсат-растения» были составлены сравнительные геохимические ряды распределения вклада тяжёлых металлов, основываясь на % массовой концентрации содержания элемента в каждой из изучаемых сред (рисунок 4.20). Сравнительные геохимические ряды распределения на примере свалки п. Сотниково имеют следующий вид (в порядке убывания % массовой концентрации): в растениях – Zn>Cu>Cr>Ni>Pb>Cd>Co>Hg>Sn>Bi; в конденсате – Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Sn>Co>Hg>Sb>Cd>Bi; в почве/грунтах – Zn>Cr>Cu>Ni>Pb>Co>Sb=Sn>Cd.

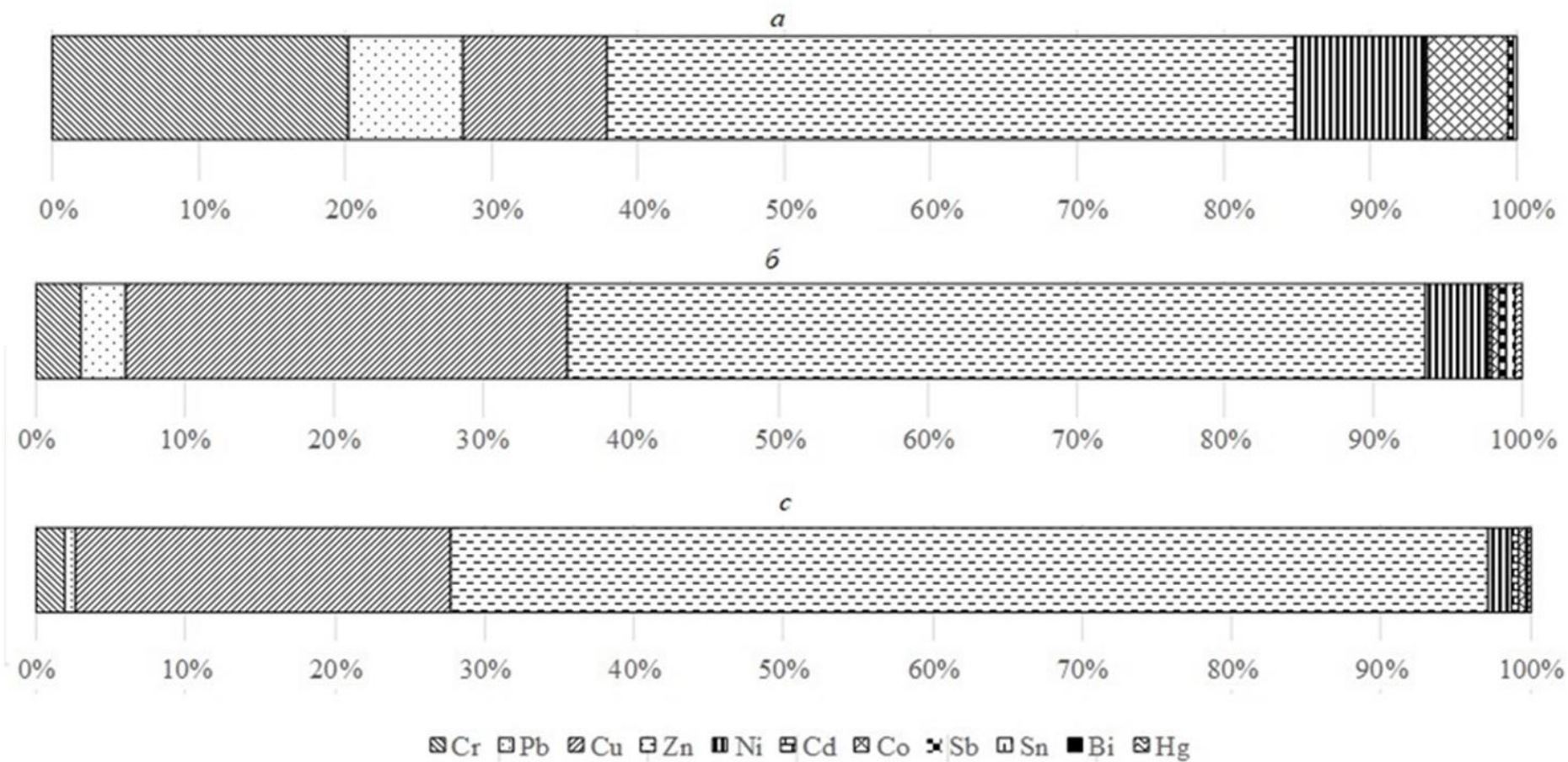


Рисунок 4.20 – Распределение тяжёлых металлов в почве/грунтах (а), конденсате (б), растениях (с) на примере свалки п. Сотниково

Более 80% суммарного вклада от содержания тяжёлых металлов (см. рисунок 4.20) в составе конденсата и растений вносят Zn и Cu, относящиеся к халькофильным элементам (по классификации В.М. Гольдшмидта). Вероятно, эти элементы обладают схожим механизмом поглощения корневой системой растений, что подтверждается многими исследованиями [Ринькис, 1972; Jarvis, 1982; Kabata-Pendias, 2011]. К тяжёлым металлам, содержание которых в конденсате и растениях варьируется от 1 до 10% относятся Cr, Ni, Pb, остальные элементы находятся в рассматриваемых средах в количестве менее 1%. В почве/грунтах же основными вкладчиками являются халькофильный Zn и литофильный Cr, суммарный вклад которых составляет более 50%. К следующей группе можно отнести Ni, Cu, Co, Pb – их содержание в почве/грунтах составляет более 1%. К элементам, содержание которых в почве/грунтах составляет менее 1% относятся Sb, Sn, Cd.

На содержание химических элементов в растениях оказывает влияние значительное число факторов: тип почвы, pH почв и питательных растворов, сопутствующие элементы, вид растения, орган, часть растения, тип ткани, органеллы клеток, фазы вегетации, многолетние условия произрастания растений, ландшафтно-геохимические условия, климатические условия и другие факторы. В работе А.Л. Ковалевского отмечено, что изучение перечисленных факторов в чистом виде зачастую является затруднительным, ведь многие факторы влияют не напрямую, а косвенно. Попытки рассмотрения прямого воздействия второстепенных факторов на химический состав растений могут привести к ошибкам. Так, наиболее частой ошибкой является объяснение низкого содержания в растениях Si, Al, Fe, Ti, Zr, La, Ce, Th, U, V, Nb, Gr, W, Mn, F недоступностью корням растений их форм, находящихся в почвах и горных породах, однако исследования автора [Ковалевский, 1991] показали, что эти химические элементы накапливаются по безбарьерному типу только корнями растений, а листьями они накапливаются по барьерному типу. С целью учёта механизма барьерного накопления растениями химических элементов на свалках было решено проанализировать их содержание не только в надземной, но и в подземных (корни) частях растений. На основании сравнительного анализа распределения химических элементов в растениях разных типов для дальнейшего изучения была выбрана полынь веничная, обладающая достоинствами смеси травянистых трав (укоса) и произрастающая на территории всех объектов исследования.

Корреляционный анализ распределения концентраций исследуемых химических элементов в надземных и подземных частях растений был проведен с помощью ПК Statistika 10.0 при доверительной вероятности 95%. Результаты анализа показали высокую положительную корреляционную зависимость (критерий Пирсона $> 0,7$) содержания Ni, Cu, Zn, Cd, Sb в надземной и подземной частях растений (приложение Г). В целом в подземных частях растений концентрации

тяжёлых металлов были выше по сравнению с надземными частями (рисунок 4.21), что свидетельствует о работе барьерных механизмов растений относительно данной группы металлов.

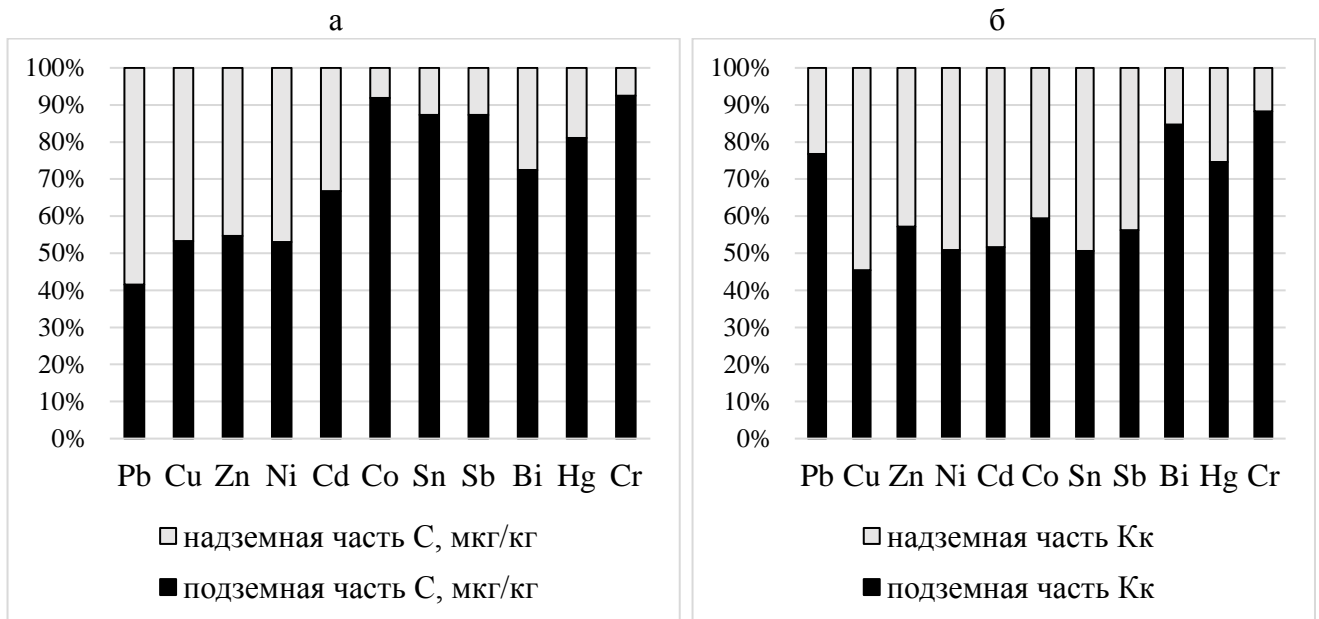


Рисунок 4.21 – Распределение содержания (С, мкг/кг) химических элементов (а) и коэффициентов концентраций (K_k) относительно фоновых значений (б) в надземной и подземной частях полыни веничной

Практически для всех проанализированных тяжёлых металлов, за исключением Pb, было характерно большее их содержание в корнях по сравнению с надземной частью. Поступление Pb возможно не только через корни растений, но и через атмосферный воздух [Kabata-Pendias et al, 2011]. Стоит обратить внимание, что для выбранной группы элементов наблюдается не только повышенные фактические содержания в корнях по сравнению с надземной частью, но и повышенные коэффициенты концентрации в корневой части растений, что может служить ярким показателем при оценке степени техногенной нагрузки на изучаемой территории.

Таким образом, анализ химического состава растений, произрастающих на объектах захоронения отходов Улан-Удэнской агломерации, позволил сделать следующие выводы:

- растения являются перспективными биоиндикаторами для оценки степени техногенной нагрузки;
- полынь веничная является оптимальным индикатором при организации биомониторинга на объектах размещения отходов;
- при организации биомониторинга с помощью растений на объектах размещения отходов целесообразно использовать подземные части растений, являющиеся наиболее информативными

для оценки степени загрязнения не только поверхностных слоев почвы/грунтов, но и более глубоких горизонтов.

4.6 Оценка токсичности сред, контактирующих со свалкой методами фитотестирования

Для изучения комплексного воздействия на экосистемы загрязненных объектов широко используются методы биотестирования [Зерщикова, 2004; Горбачева, 2019; Ostroumov, 2022]. Преимуществом биотестирования в отличие от физико-химических методов анализа, является возможность учёта синергетического эффекта различных химических элементов и физико-химических условий среды при воздействии их на живые организмы [Баранов, 2018; Morachevskaya, 2022].

При оценке степени фитотоксичности снеговой воды были рассчитаны энергия прорастания культур, фитотоксичный эффект и индекс токсичности оцениваемого фактора для двух тест-культур: редис «Заря» (*Raphanus sativus*) и овёс посевной (*Avena sativa* L.). Результаты эксперимента (таблица 4.22) показали высокую всхожесть семян обеих культур за время культивирования. Энергия прорастания семян редиса и овса к окончанию сроков культивирования варьировалась в диапазоне 90-100% для всех проб.

Таблица 4.22 – Энергия прорастания тест-культур

Наименование пробы	Энергия прорастания семян редиса, В, %					Энергия прорастания семян овса, В, %							
	Продолжительность культивирования, дни				ИТФ	Продолжительность культивирования, дни							ИТФ
	1	2	3	4		1	2	3	4	5	6	7	
Контроль	50	90	90	90	0,95	5	35	75	85	85	90	90	1,00
Фон, п. Сотниково	90	100	100	100	1,05	5	65	80	90	90	95	95	1,06
Свалка, п. Стеклозавод	80	90	90	95	1,00	0	75	85	100	100	100	100	1,11
Фон, падь Бабасанова	65	90	90	90	0,95	5	70	85	95	95	95	95	1,06
Свалка, падь Бабасанова	60	90	90	90	0,95	0	45	65	85	90	95	100	1,11
Фон, п. Восточный	55	95	95	95	1,00	0	70	80	100	100	100	100	1,11
Площадка золошлаков, п. Площадка	60	90	100	100	1,05	0	60	60	70	75	80	90	1,00

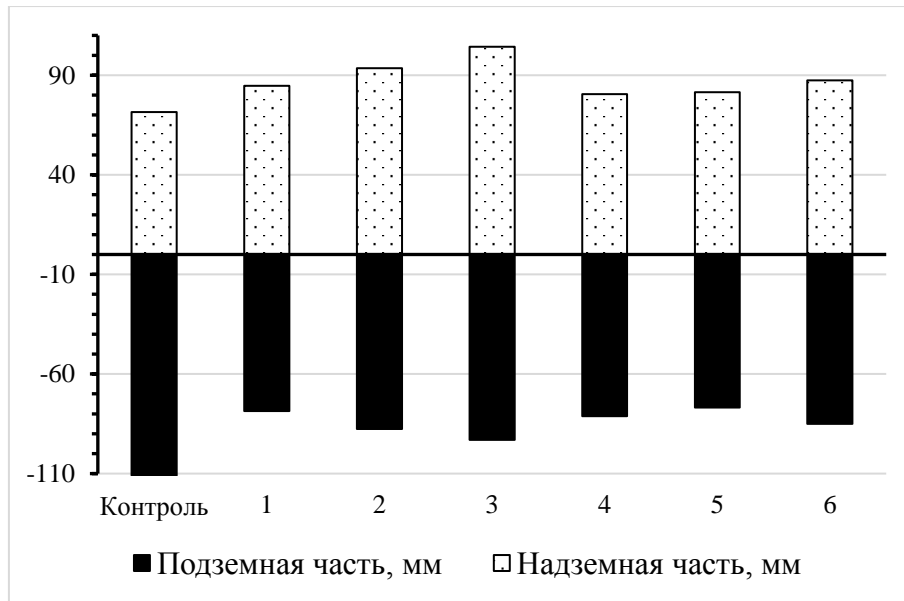
Индекс токсичности, рассчитанный по количеству проросших семян на заключительный день эксперимента для всех исследуемых проб варьировался от 1,0 до 1,11, что позволяет отнести их к V (норма) – VI (стимуляция) классам. Стоит отметить, что скорость прорастания семян овса на пробах снеговой воды, отобранных в пади Бабасанова и п. Площадка была ниже по сравнению с остальными участками.

Расчетные значения индекса токсичности исследуемого фактора по длине проростков (таблица 4.23) в целом коррелируют с аналогичным показателем, рассчитанным на основании энергии прорастания, ИТФ для семян редиса варьируется от 1,04 до 1,25 для надземной части растений и от 0,9 до 1,5 для подземной части растений, что позволяет отнести исследуемые пробы снеговой воды к V (норма) – VI (стимуляция) классам на основании шкалы токсичности и, как следствие, к отрицательному или незначительному фитотоксичному эффекту.

Таблица 4.23 – Расчет ИТФ и фитотоксичного эффекта для снега на свалках Улан-Удэнской агломерации

Площадки отбора проб	Длина надземной части (ср.знач), мм	ИТФ	ФЭ	Длина подземной части (ср.знач), мм	ИТФ	ФЭ
<i>Редис «Заря» (Raphanus sativus)</i>						
Контроль	26,06	1,00	0,00	36,50	1,00	0,00
Фон, п. Сотниково	28,95	1,11	-11,11	40,65	1,11	-11,37
Свалка, п. Стеклозавод	31,05	1,19	-19,18	54,89	1,50	-50,40
Фон, п. Стеклозавод	32,44	1,25	-24,52	51,94	1,42	-42,31
Фон, падь Бабасанова	28,89	1,11	-10,90	32,95	0,90	9,73
Свалка, падь Бабасанова	28,72	1,10	-10,23	47,50	1,30	-30,14
Площадка золошлаков, п. Площадка	27,10	1,04	-4,01	50,00	1,37	-36,99
<i>Овес посевной (Avena sativa L.)</i>						
Контроль	71,44	1,00	0,00	110,94	1,00	0,00
Фон, п. Сотниково	84,74	1,19	-18,61	78,53	0,71	29,22
Свалка, п. Стеклозавод	93,50	1,31	-30,87	87,55	0,79	21,09
Фон, п. Стеклозавод	104,37	1,46	-46,08	93,05	0,84	16,13
Фон, падь Бабасанова	80,44	1,13	-12,59	81,25	0,73	26,77
Свалка, падь Бабасанова	81,50	1,14	-14,07	76,85	0,69	30,73
Площадка золошлаков, п. Площадка	87,39	1,22	-22,32	85,00	0,77	23,39

ИТФ для надземной части проростков семян овса варьируется от 1,13 до 1,46, что также позволяет отнести исследуемые пробы снеговой воды к VI (стимуляции) классу. Однако, результаты замеров подземной части проростков семян овса (рисунок 4.22) показали, что для всех проб характерно снижение длины проростков по сравнению с контролем, значения ИТФ варьируются от 0,69 до 0,84, таким образом одна проба (свалка, падь Бабасанова) может быть отнесена к III классу (средняя токсичность), пять проб – к IV классу (низкая токсичность) опасности.



1 – фон, п. Сотниково; 2 – свалка, п. Стеклозавод; 3 – фон, падь Бабасанова; 4 – свалка, падь Бабасанова; 5 – фон, п. Восточный; 6 – свалка п. Площадка

Рисунок 4.22 – Длина наземных и подземных частей проростков семян овса

Таким образом, в целом исследуемые пробы снеговой воды характеризуются низкой фитотоксичностью по отношению к тест-культурам редис «Заря» (*Raphanus sativus*) и овёс посевной (*Avena sativa L.*), во многих случаях наблюдается стимуляция роста растений на снеговой воде. Вода снежного покрова, отобранного на территории свалки промышленных отходов в местности падь Бабасанова характеризуется повышенной токсичностью.

Оценку фитотоксичности почв/грунтов на исследуемых объектах размещения отходов было решено провести для свалки промышленных отходов в местности падь Бабасанова, так как по результатам расчёта индекса загрязнения почв/грунтов, эта территория была отнесена к чрезвычайно-опасной категории загрязнения, а снеговая вода на этой территории показала повышенную токсичность для семян овса. Отбор проб почвы/грунтов на свалке проводился по 7 профилям с шагом сетки 20 м × 20 м (см. рисунок 3.9). Результаты расчета фитотоксичного эффекта почвы/грунтов на свалке пади Бабасанова (рисунок 4.23) позволили выявить зоны повышенной токсичности почвы на свалке. Повышенной токсичностью характеризуются грунты 4, 5 профилей, расположенных на основной насыпи свалки, наименьшую токсичность показали грунты 6, 7 профиля, расположенных на флангах свалки. Надземные части тест-культуры овёс посевной (*Avena sativa L.*) были более подвержены фитотоксичному эффекту почвы/грунтов по сравнению с подземными частями растения. В целом ИТФ для надземной части растений варьировался в диапазоне 0,32-0,84, для подземной части растений – в диапазоне 0,39-0,95, что соответствует II – IV классам токсичности (таблица 4.24). Таким образом, токсичность почвы/грунтов на свалке

в местности падь Бабасанова варьируется от низкого до высокого уровня по отношению к культуре овес посевной (*Avena sativa L.*).

Таблица 4.24 – Расчет ИТФ и фитотоксичного эффекта почвы на свалке падь Бабасанова

Площадки отбора проб	Длина надземной части (ср.знач), мм	ИТФ	ФЭ	Длина подземной части (ср.знач), мм	ИТФ	ФЭ
Овес посевной (<i>Avena sativa L.</i>)						
Контроль	16,53	-	-	13,78	-	-
Профиль 1	8,42	0,51	49	10,55	0,77	23
Профиль 2	11,25	0,68	32	13,08	0,95	5
Профиль 3	8,44	0,51	49	12,03	0,87	13
Профиль 4	6,07	0,37	63	6,59	0,48	52
Профиль 5	5,36	0,32	68	5,42	0,39	61
Профиль 6	12,35	0,75	25	12,84	0,93	7
Профиль 7	13,82	0,84	16	11,89	0,86	14

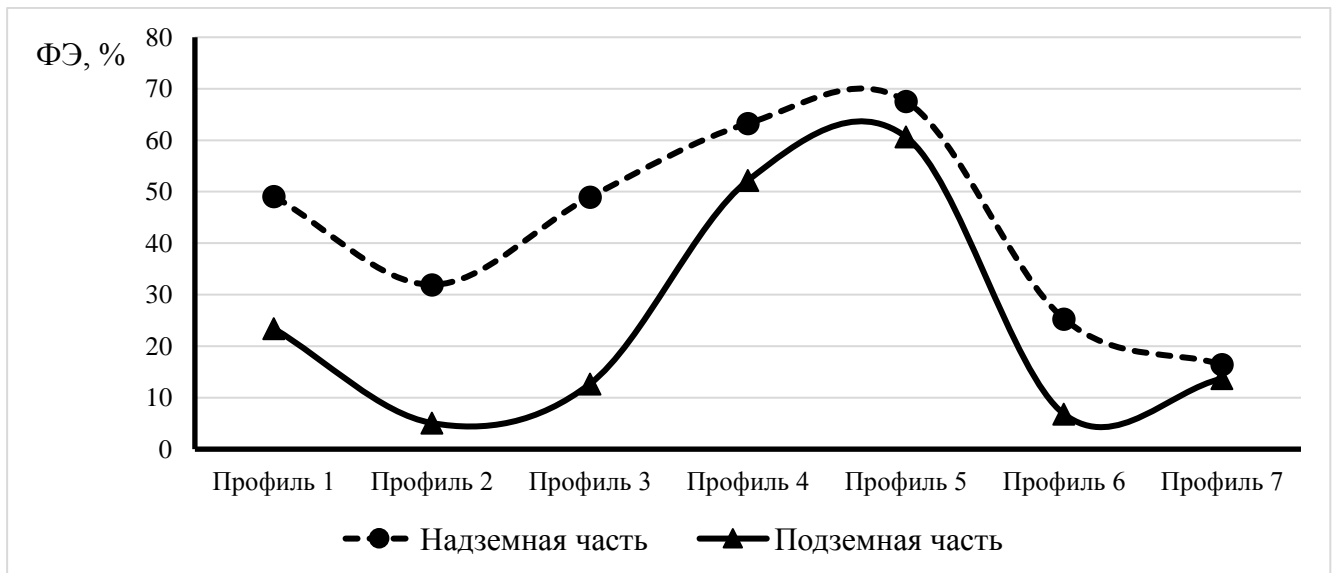


Рисунок 4.23– Динамика изменения фитотоксичного эффекта (ФЭ) почвы/грунтов по отношению к семенам овса по профилям на свалке промышленных отходов в местности падь Бабасанова

4.7 Оценка уровня радиоактивности техногенных грунтов

Измерение уровня радиоактивности почв/грунтов было решено провести на объекте захоронения отходов в местности падь Бабасанова, что связано с его повышенной токсичностью по отношению к контактирующим средам, выявленную для почвы/грунтов, растений, конденсата и снегового покрова. Замеры были проведены по профилям в границах расчётного прямоугольника, охватывающего основное тело свалки, а также фланги свалки по состоянию на 1992 г (см. рисунок 3.5), количество точек опробования составило $n=132$. По результатам замеров (таблица

4.25) было установлено, что интегральная радиоактивность в целом на исследуемой территории колеблется от 7,5 до 29,2 ед. экв. U (со средним содержанием 21,5 ед. экв. U). Содержание U варьирует от 1,5 до 15 мг/кг (со средним содержанием 3,9 мг/кг), что в 1,8 раз выше регионального фона. Концентрация тория находится в пределах от 5,5 до 18,7 мг/кг (со средним содержанием 13,9 мг/кг), что в 2,0 раз выше регионального фона. Количество калия колеблется от 0,8 до 4,6 % (со средним содержанием 3,2 %), что превышает региональный фон в 1,7 раз.

Таблица 4.25 – Интегральная радиоактивность и содержание U, Th и K в почвах/грунтах на свалке падь Бабасанова

Исследуемая территория	Интегральная радиоактивность, ед. экв. U		U, мг/кг		Th, мг/кг		K, %	
	Пределы колебаний	Среднее	Пределы колебаний	Среднее	Пределы колебаний	Среднее	Пределы колебаний	Среднее
В целом на исследуемой территории (n=132)	7,5-29,2	21,5	1,5 – 15	3,9	5,5-18,7	13,9	0,8-4,6	3,2
Существующая насыпь свалки (n = 33)	13,3-24,8	20,3	1,5-7,7	3,8	7,2-17,6	13,2	1,4-4,2	3,0
«Фланги» бывшей свалки (n = 99)	7,5-29,2	21,8	1,7-15	4,0	5,5-18,7	14,1	0,8-4,6	3,3
Содержание в почвах Республики Бурятия [Гребенщикова и др., 2009; Рихванов и др., 2013]	-	-	2,2-3,6	-	7,0-7,16	-	1,9	-
Кларк в почве [Виноградов, 1957]	-	-	1,0	-	6,0	-	2,5	-

Геоинформационные модели распределения естественных радиоактивных элементов, построенные с помощью программы ArcGis (версия 10.8), показали, что зоны максимальных значений интегральной радиоактивности, U, Th и K расположены за пределами основного тела свалки (рисунок 4.24), что свидетельствует о естественном происхождении высокого радиационного фона на данной территории. Свалка в местности падь Бабасанова расположена в центральной части Иволгино-Удинской впадины в пределах убукунской и сотниковской свит. По данным научно-исследовательских работ, проводимых на данной территории в 1980-1984 гг. [Гофман, 1984] породы сотниковской свиты (средне- и грубозернистые песчаники, элювиальные отложения) характеризуются повышенным содержанием радиоактивных элементов: U – 2,2-4,2 г/т (при фоновом уровне 1,4-1,8 г/т); K – 2,7-3,4% (при фоновом уровне 2,6-2,8 %) Th – 10,6-17,5 г/т (при фоновом уровне 4,7-5,1 г/т).

Таким образом, повышенный уровень радиации в районе размещения закрытой свалки промышленных отходов в местности падь Бабасанова связан не с захороненными отходами, а с геохимическими особенностями коренных пород, в границах которых расположена свалка.

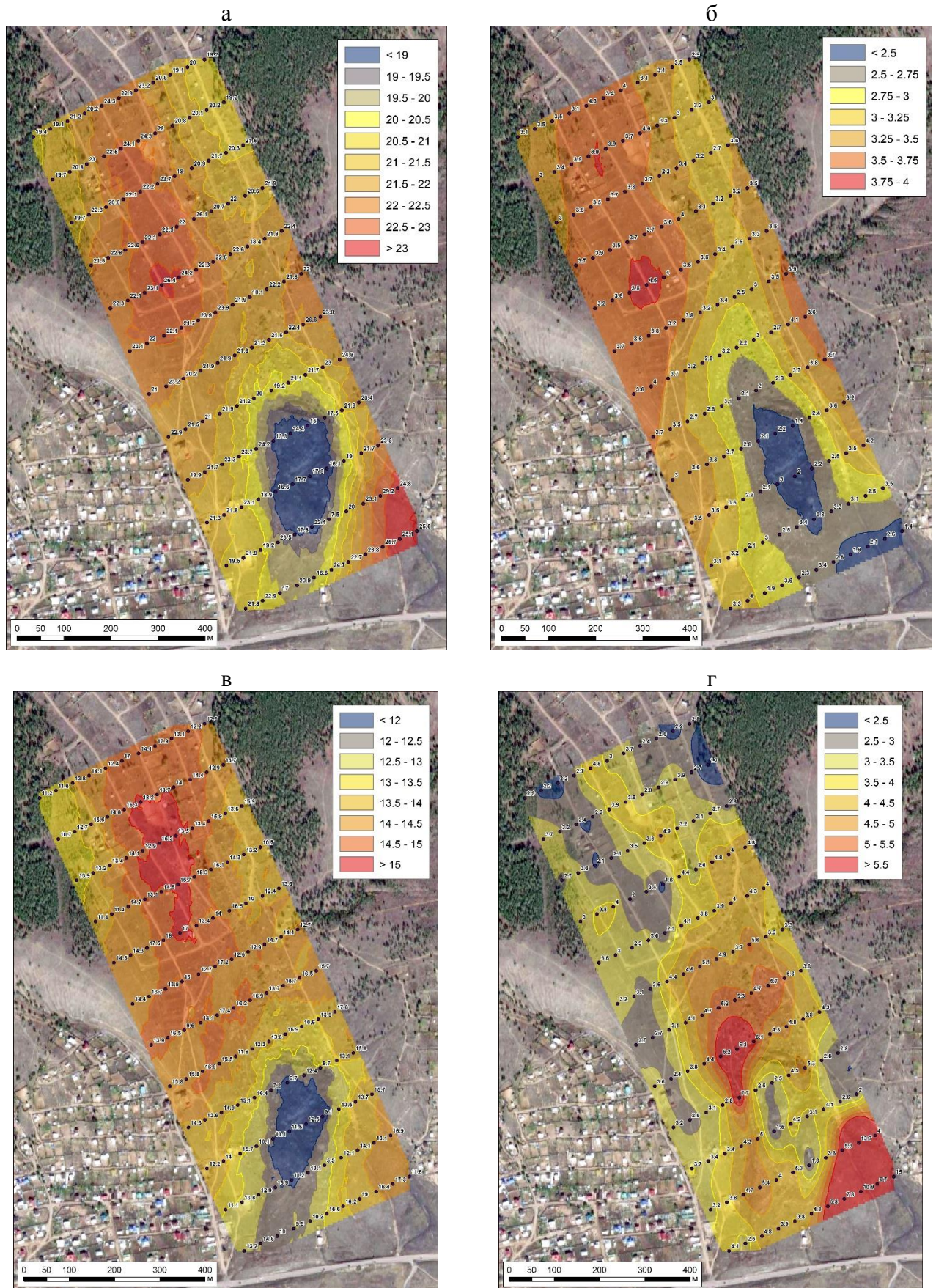


Рисунок 4.24 – Геоинформационные модели распределения интегральной радиоактивности (а), К (б), Th (в) и U (г) в районе расположения свалки пади Бабасанова

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 токсичных химических элементов в почвах/грунтах, конденсационной 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 подземные части полыни веничной растений (*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>Промышленные</i>	<i>Коммунальные</i>	<i>Коммунальные</i>	<i>Золшлаковые</i>
<i>Год закрытия свалки</i>	1989	2015	2006	2023

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Н. Ф. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов / Н.Ф. Абрамов, Э.С. Санников, Н.В. Русаков [и др.]. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 2004. – 20 с.
2. Соколов А.В. Агрехимические методы исследования почв / отв.ред. А.В. Соколов. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
3. Адильбаева Т.Е. Оценка аэротехногенного загрязнения в окрестностях теплоэлектростанции (ТЭЦ-3) г. Караганды по данным снеговой съемки (республика Казахстан) / Т.Е. Адильбаева, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков // Известия национальной академии наук республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. – 2017. – №4. – С. 237-247.
4. Алимов А.Ф. Интегральная оценка экологического состояния и качества среды городских территорий / А. Ф. Алимов, В. В. Дмитриев, Т. М. Флоринская [и др.]; под редакцией А.К. Фролова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, 1999. – 253 с.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В.Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 487 с.
6. Архив погоды // [Электронный ресурс], режим доступа https://world-weather.ru/archive/russia/ulan_ude/#t2 (дата обращения 23.05.2023).
7. Аль-Ахваль, Н. А. С. Влияния фильтрата полигона отходов на загрязнения грунтовых вод в городе Санае (Йемен) / Н.А.С. Аль-Ахваль, Е.Г. Семин // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 2. – С. 122-125.
8. Баранов А. П. Экотоксикологическая оценка применения удобрений на основе осадков сточных вод методом биотестирования / А. П. Баранов, М. И. Лунев, Г. Е. Мерзлая // Агрехимический вестник. – 2018. – № 1. – С. 12-15.
9. Барышева О. Б. Метод утилизации твердых бытовых и промышленных отходов / О. Б. Барышева, Ю. Х. Хабибуллин, Б. Х. Мусин // Известия КГАСУ. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства. – 2017. – № 1 (39). – С. 294-301.
10. Белоголовов В.Ф. Выявление и разработка техногенных геохимических аномалий на территории некоторых промцентров БурАССР. Отчет по теме 377 за 1985-86 гг. / В.Ф. Белоголовов, Э.Ф. Жбанов. – Улан-Удэ: Бурятгеология, 1986 г. – 194 с.
11. Белоголовов В.Ф. Геохимический атлас Улан-Удэ / В.Ф. Белоголовов. – Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1989. – 52 с.

12. Белозерцева И.А. Химический состав снега акватории озера Байкал и прилегающей территории / И. А. Белозерцева, И. Б. Воробьева, Н. В. Власова [и др.] // География и природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 90-99.
13. Беседина А.Н. Комплексный анализ микросейсмического фона Байкальской рифтовой зоны / А. Н. Беседина, Ц. А. Тубанов, П. А. Предеин, Д. П. Д. Санжиева // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Тезисы XVI Международной сейсмологической школы, Минск, 12–16 сентября 2022 года. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2022. – С. 21.
14. Бетехтин А.Г. Курс минералогии / А.Г. Бетехтин. – М.: Госгеолтехиздат, 1956. – 558 с.
15. Битюцкий Н. П. Минеральное питание растений: учебник. 2-е изд. / Н.П. Битюцкий – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2020. – 540 с.
16. Бичелдей Т. К.-О. Биогаз как антропогенный фактор воздействия на популяцию человека, проживающего вблизи полигонов твердых бытовых отходов «Самосырово» и «Кргашино»: специальность 03.02.08 «Экология»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Бичелдей Тайраа Каадыр-Ооловна. – Москва, 2011. – 25 с.
17. Бобоев Х. Б. Определение количества и состава биогаза, образующегося на полигоне твердых бытовых отходов города Душанбе / Х. Б. Бобоев, Ш. Б. Назаров, С. Ж. Иброхимов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2018. – № 3(172). – С. 91-97.
18. Большунова Т. С. К вопросу о выборе фоновых концентраций химических элементов в лишайниках-эпифитах / Т.С. Большунова, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская // Известия ТПУ. – 2015. – №9. – С. 33-46.
19. Бондарева Т.Н. Влияние литиевого удобрения на минеральное питание и продуктивность растений риса / Т.Н. Бондарева, А.Ю. Тхагапсу, А.Х. Шеуджен // Агрохимия. –2009. – № 7. – С. 20–25.
20. Борходоева Е. Два зла Бабасановой пади // Информ-Полис [Электронный ресурс от 30.05.2001 г.], режим доступа: <https://www.infpol.ru/166302-dva-zla-babasanovoy-padi/> (дата обращения 10.06.2023 г).
21. Боярко Г.Ю. Обзор состояния производства и потребления баритового сырья в России / Г.Ю. Боярко, В.Ю. Хатьков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 10. – С.180-191.
22. Быков Д.Е. Перспективы изменения состава ТБО / Д. Е. Быков, Н. В. Рюмина, С. Н. Дегтярев и др. // Экология и промышленность России. – 2007. – № 7. – С. 30-31.

23. Вайсман Я.И. Процессы, протекающие на полигонах ТБО / Я.И. Вайсман, Л.В. Рудакова, Я.Т. Жилинская // Твердые бытовые отходы. – 2008. – № 1. – С. 14-19.
24. Ветров Д.В. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист М-48-VI (Улан-Удэ). Объяснительная записка. – М.: Госгеолтехиздат, 1960. – 82 с.
25. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. / А.П. Виноградов – М.: Акад. наук СССР, 1957. – 238 с.
26. Волкова И.Н. Экологическое почвоведение: Лабораторные занятия для студентов-экологов (бакалавров): Методические указания / Сост. И.Н. Волкова, Г.В. Кондакова. – Ярославль: Яросл.гос.ун-т., 2002. – 35 с.
27. Волчек А.А. Экологическое состояние полигонов твердых коммунальных отходов Брестской области / А.А. Волчек, А.В. Безручко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – №2. – С. 117-122.
28. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. /утв. Зам.председателя Гос.комитета В.Г. Соколовским. – М.: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, 1986. – 6 с.
29. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках /утв. Главным управлением ветеринарии Государственного агропромышленного комитета СССР 7 августа 1987 г. N 123-4/281-8 // [Электронный ресурс] режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200086835> (дата обращения 10.10.2022).
30. Галицкая И.В. Оценка состояния полигона ТКО для обоснования мониторинговых исследований в пострекультивационный период / И.В. Галицкая, В.С. Путилина, И.А. Костикова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокринология, 2022. – № 5. – С.49-60.
31. Гарин В.М. Обращение с опасными отходами: учеб. пособие / В. М. Гарин др.; под ред. В. М. Гарина и Г. Н. Соколовой. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. – 224 с.
32. Гельман В.А. Развитие промышленности Бурятии в условиях трансформации российского общества / В.А. Гельман // Вестник Бурятского государственного университета. – 2014. – № 7. – С. 50-54.
33. Геологическая карта: М-48-VI (Улан-Удэ). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Селенгинская серия, масштаб: 1:200000, серия: Селенгинская / сост. В.С. Платов, В.Г. Терещенков, А.А. Савченко, С.М. Бусуек, Г.Б. Аносова, С.А. Полянский; под. ред. В.П. Арсентьев. – М.(СПб): ГФУП Бурятгеоцентр, 2001 г. – 156 с.
34. Глушанкова И.С. Очистка фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов на различных этапах жизненного цикла: специальность 05.23.04 «Водоснабжение,

канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Глушанкова Ирина Самуиловна. – Пермь, 2004. – 48 с.

35. Гончарова В.Г. Определение фитотоксичности почв на несанкционированных свалках г. Улан - Удэ / В. Г. Гончарова, В. В. Грудина, О. Н. Чудинова, Т. В. Чередова // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 3. – С. 794-802.

36. Горбачева Е. А. Использование биотестирования для оценки качества донных отложений района с низким уровнем загрязнения - разрез "Кольский меридиан" (Баренцево море) // Экологические системы и приборы. – 2019. – № 11. – С. 41-47.

37. Горленко М.В. Грибы как источник пищевых белков / М.В. Горленко // Микология и фитопатология. – 1983. – Т.17. – № 3. – С. 117-181.

38. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб" (введен в действие Приказом Росстандарта от 01.06.2018 № 302-ст). [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200159508> (дата обращения 10.10.2022).

39. ГОСТ 17.4.4.02-2017. "Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа" (введен в действие Приказом Росстандарта от 17.04.2018 N 202-ст) // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200158951> (дата обращения 10.10.2022).

40. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа // [Электронный ресурс], режим доступа: https://www.np-ciz.ru/userfiles/17_4_4_02-84.pdf (дата обращения 01.08.2023).

41. ГОСТ 25100-2020 "Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июля 2020 г. N 384-ст) // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://base.garant.ru/74721280/> (дата обращения 01.08.2023).

42. ГОСТ Р 53123-2008. Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://rags.ru/gosts/gost/48991/> (дата обращения 01.08.2023).

43. Гребенщикова В.И. Распределение радиоактивных элементов в окружающей среде Прибайкалья (Сообщение 1. Уран) / В.И. Гребенщикова, Н.А. Китаев, Э.Е. Лустенберг, В.И. Медведев, И.С. Ломоносов, А.Н. Карчевский // Сибирский экологический журнал. – 2009. – № 1. – С. 17-28.

44. Гуман О. М. Эколого-геологические условия полигонов твердых бытовых отходов Среднего Урала: специальность 25.00.36 "Геоэкология (по отраслям)": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Гуман Ольга Михайловна. – Екатеринбург, 2009. – 42 с.
45. Гуман О. М. Гидрогеохимическая модель полигона ТБО / О.М. Гуман, И.А. Долинина // Известия УГГУ. – 2003. – №18. – С. 262-273.
46. Дмитриев В. В. Интегральные оценки состояния сложных систем в природе и обществе / В.В. Дмитриев // Биосфера. – 2010. – Т. 2. – № 3. – С. 507–520.
47. Дмитриев В. В. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. Часть IV. Интегральная оценка экологического благополучия наземных и водных геосистем / В. В. Дмитриев, И. В. Федорова, А. С. Бирюкова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2016. – № 2. – С. 37-53.
48. Доброхотов В.Н. Семена сорных растений / В.Н. Доброхотов. – М.: Изд-во сельскохозяйственной лит. 1961. – 414 с.
49. Дорошкевич С.Г. Фитотоксичность лежалых отходов обогащения сульфидновольфрамовых руд Джидинского месторождения (западное Забайкалье) / С.Г. Дорошкевич, И.В. Бардамова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 3. – С. 241-251.
50. Дрожжин В.С. Полые микросферы в золах уноса электростанций: сборник научных статей. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2009. – 127 с.
51. Дроздова Т. В. Полигон по захоронению твердых бытовых отходов - как модель по изучению многосредового и комплексного воздействия на окружающую среду и здоровье населения: специальность 14.00.07 «Гигиена»: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Дроздова Татьяна Владимировна; ГОУ ВПО ММА. – Москва, 2005. – 155 с.
52. Егоров В.В. Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров, Е.Н. Иванова, Фридланд В.М. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
53. Ермагамбет Б.Т. Исследование химического состава золы углей / Б. Т. Ермагамбет, Н. У. Нургалиев, Л. Д. Абылгазина и др. // Наука, техника и образование. – 2018. – № 8(49). – С. 10-14.
54. Пат. 2397481 Российская Федерация, С1 МПК G01N 23/223 (2006.01). Рентгеновский спектрометр / Жалсараев Б.Ж. Кутовой А.Н., Цынгуйев В.Г.; заявитель и патентообладатель Геологический институт Сибирского отделения Российской Академии наук – № 2009128389/28 от 22.07.2009; опубл. 20.08.2010, Бюл. № 23 – 9 с.

55. Зайцева Т.А. Закономерности изменения микробиоценозов на полигонах депонирования твердых бытовых отходов в процессе деструкции органических веществ: специальность 03.00.16 «Экология»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Зайцева Тамара Алексеевна; ПГУ. – Пермь, 2006. – 36 с.

56. Зерщикова Т. А. Изучение качества воды в реке Везелка методом биотестирования с использованием дафний / Т. А. Зерщикова, Л. П. Флоринская // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 11. – С. 109-110.

57. Зомарев А. М. Санитарно-гигиенический мониторинг полигонов захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) на этапах жизненного цикла: специальность 14.02.01 «Гигиена»: диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Зомарев Александр Михайлович. – Пермь, 2010. – 307 с.

58. Зомарев А. М. Санитарно-гигиенический мониторинг полигонов захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) на этапах жизненного цикла: специальность 14.02.01 «Гигиена»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Зомарев Александр Михайлович; ПГУ. – Пермь, 2010. – 50 с.

59. Злобина В.Л. Оценка опасности загрязнения окружающей среды свалками промышленных и коммунальных отходов / В.Л. Злобина, Ю.А. Медовар, И.О. Юшманов // Водные ресурсы, 2021. – Т.48. – № 3. – С. 315-321.

60. Иванова Ю.С. Загрязнение почв тяжелыми металлами под влиянием несанкционированных свалок (медико-экологический аспект) / Ю.С. Иванова, В.Н. Горбачев // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2012. – №1. – С. 119-124.

61. Иваныкина Т.В. Актуальность биоиндикации растений в условиях техногенного загрязнения / Т.В. Иваныкина // Вестник Амурского государственного университета. Естественные и экономические науки. – 2010. – №. 51. – С. 81– 83.

62. Ильиных Г. В. Исследования состава твердых бытовых отходов и оценка их санитарно-эпидемиологической опасности / Г.В. Ильиных, Н.Н. Слюсарь, В.Н. Коротаев, Я.И. Вайсман, Н.М. Самутин // Гигиена и санитария. – 2013. – № 1. – С. 53-55.

63. Калюжина Е.А. Экологические особенности воздействия полигонов твердых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения / Е.А. Калюжина, Н.С. Самарская // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №3(30). – С.43.

64. Кашин В.К. Литий в почвах и растениях западного Забайкалья / В.К. Кашин // Почвоведение. – 2019. – № 4. – С. 400-411.

65. Кешева Л. А. Исследование состояния поверхностных и подземных вод в районе размещения несанкционированной свалки / Л. А. Кешева, Н. В. Теунова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 8(134).

66. Кибанов Г.А. Особенности инженерно-геологических условий, сейсмической и инженерно-строительной оценки Центральных районов Бурятской АССР в связи с эволюцией новейших структур (Западное Забайкалье) / Г.А. Кибанов, К.М. Марактаев, А.А. Антакшинов [и др.]. – Улан-Удэ: Бурятское изд-во, 1977. – 240 с.
67. Кизильштейн Л.Я. Алумосиликатные микросферы золы пылеугольного сжигания углей / Л.Я. Кизильштейн, А.Л. Шпицглюз, В.Г. Рылов // Химия твердого топлива. – 1987. – №6. – С. 122-126.
68. Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений / А.Л. Ковалевский – Новосибирск: Наука, 1991. – 294 с.
69. Коломиец В.Л. Литологические особенности осадочных толщ сейсмоопасных зон территории города Улан-Удэ / В.Л. Коломиец, Ц.А. Тубанов, Р.Ц. Будаев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – №6-1. – С. 186-190.
70. Корляков И.Д. Тяжелые металлы и металлоиды в почвенном покрове г. Улан-Удэ / И.Д. Корляков, Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 3. – С. 120–137.
71. Корсун О.В. Природа Забайкалья: растения / О.В. Корсун – Чита: Экспресс-издательство, 2009. – 512 с.
72. Кропачев А.М. Геохимические процессы в городских свалках твердых бытовых отходов / А.М. Кропачев // Экология города: Материалы региональной научно-технической конференции. – Пермь, 1998. – С. 85-86.
73. Кульчицкий Н.А. Современное состояние рынков селена и соединений на его основе / Н.А. Кульчицкий // Металлургия редких и благородных металлов. – 2015. – № 3. – С. 40-48.
74. Куриленко В.В. Эколого-геологическая и биогеохимическая оценка воздействия полигонов твердых отходов на состояние окружающей среды // В.В. Куриленко, И.И. Подплипский, Н.Г. Осмоловская // Экология и промышленность России. – 2012. – ноябрь. – С 28-32.
75. Ларионова А. Д. Эколого-геохимические проблемы рудных месторождений / А.Д. Ларионова // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2019. – № 2(39). – С. 379-385.
76. Макаров В.П. Содержание химических элементов в корнях *Saposhnikovia Divaricata* (*Ariaceae*) в Забайкальском крае / В. П. Макаров, М.А. Солодухина, О.Ф. Малых, Н.Ю. Михеева, Е.А. Банщикова, В.С. Ларин, В.В. Бронников, Т.В. Желибо // Растительные ресурсы. – 2022. – Т.58. - № 4. – С. 402-416.
77. Малкин В. Ю. Ориентировочная оценка объёма биогаза, выделяемого на полигонах твердых бытовых отходов / В. Ю. Малкин, А. Т. Павленко, О. А. Кравцова // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2022. – № 5(59). – С. 34-36.

78. Меженский В. Н. Растения-индикаторы. / В.Н. Меженский – М.: ООО «Издательство АСТ»; Донецк: «Сталкер», 2004. – 76 с.
79. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. – М.: изд-во «ИМГРЭ», 1990. – 16 с.
80. Методические указания 2.1.7.730-99. «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 38 с.
81. Миккельсен Р. Сера в почвах и серосодержащие удобрения / Р. Миккельсен, Р. Нортон // Питание растений. – 2014. – № 3. – С.6-9.
82. Мирович В. М. Исследование элементного состава надземных органов пустырника уменьшенного (*Leonurus deminutus* V. Krecz.), произрастающего в Центральной Сибири / В. М. Мирович, Я. В. Соколова, Е. П. Чебыкин // Человек и его здоровье. – 2021. – Т. 24. – № 4. – С. 74-82.
83. Мотошкина М.А. Оценка природно-антропогенных рисков на территории г. Улан-Удэ и пригородной зоны / М.А. Мотошкина // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. – 2015. – №4-1. – С.188-191.
84. Мурзин В.Н. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Ангыра, Уды и Куналейки. Листы М-48-144-Б, Г; М-48-11-Б (в,г); 12-А, Б, В; -24-А, В (б,г); М-49-1-А. Отчет Надеинской ГСП по ГС-50 и ГДП-50 за 1983-1986гг. / В.Н. Мурзин, Н.И. Иванькова, А.С. Плаксенко [и др.]. – Улан-Удэ: БурТГФ, 1986.
85. Национальный атлас Российской Федерации, Т. 2, 2004 г // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://nationalatlas.ru/tom2/154.html?ysclid=lrabsmog61385145392> (дата обращения 11.01.2024).
86. Осипов С. В. Геоэкологические оценка и мониторинг территории: технология на основе ландшафтного картографирования антропогенных геокомплексов / С. В. Осипов, А. А. Гуров // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2022. – Т. 67. – № 4. – С. 631-651.
87. Официальный сайт Минприроды России. Ликвидация накопленного вреда окружающей среде // [Электронный ресурс], режим доступа: https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/likvidatsiya_nakoplenного_vreda_okruzhayushchey_srede/likvidatsiya_vreda_okruzhayushchey_srede/?sphrase_id=620893 (дата обращения 20.07.2023).
88. Официальный сайт Минприроды России. На ликвидацию незаконных свалок в центральной экологической зоне Байкальской природной территории направят 102 миллиона рублей // [Электронный ресурс], режим доступа:

https://www.mnr.gov.ru/press/news/na_likvidatsiyu_nezakonnykh_svalok_v_tsentralnoy_ekologicheskoy_zone_baykalskoy_prirodnoy_territorii/ (дата обращения 20.07.2023).

89. Официальный сайт Минприроды России. Состояние и перспективы сотрудничества в области охраны окружающей среды обсудили на совещании ШОС // [Электронный ресурс], режим доступа:

https://www.mnr.gov.ru/press/news/sostoyanie_i_perspektivy_sotrudnichestva_v_oblasti_okhrany_okruzhayushchey_sredy_obsudili_na_soveshchaniyakh/?sphrase_id=620893 (дата обращения 20.07.2023).

90. Официальный сайт Росприроднадзора // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/> (дата обращения 20.07.2023).

91. Переломов Л. В. Молекулярные механизмы взаимодействия микроорганизмов и микроэлементов в окружающей среде. Прямая биологическая трансформация соединений микроэлементов / Л. В. Переломов, А. Н. Чулин // Успехи современной биологии. – 2013. – Т. 133. – № 6. – С. 531-549.

92. Перязева Е.Г. Взаимодействие атмосферных осадков с почвогрунтами урбанизированных территорий Байкальского региона / Е.Г. Перязева – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2007. – 126 с.

93. Плюснин А.М. Загрязнение атмосферы от хранилищ отходов добычи и переработки вольфрам-молибденовых руд / А. М. Плюснин, Ю. С. Воронина, А. В. Украинцев [и др.] // Геохимия. – 2023. – Т. 68. – № 12. – С. 1295-1311.

94. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс], режим доступа: <https://pkk.rosreestr.ru/#/search/65.64951699999888,122.73014399999792/4/@bs7nhsaos> (дата обращения 01.06.2023).

95. Радомская В. И. Многомерный статистический анализ содержаний элементов в снеговом покрове г. Благовещенска / В.И. Радомская, Д.В. Юсупов, Л. М. Павлова, А. Г. Сергеева, Н.А. Бородина // Региональная экология. – 2018. – № 2 (52). – С. 15–28.

96. Реймерс Н. Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы / Н.Ф. Реймерс – М.: Россия молодая, 1994. – 366 с.

97. Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания растений / Г.Я. Ринькис – Рига: Зинанте, 1972. – 355 с.

98. Рихванов Л. П. Радиоактивные элементы в почвах Сибири / Л.П. Рихванов, В.Д. Страховенко, И.Н. Маликова и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Международной конференции. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2013. – С. 448-450.

99. Романова Е. М. Экологический мониторинг полигонов и свалок ТБО на примере Ульяновской области / Е. М. Романова, В. Н. Намазова // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2007. – №2 (5). – С. 58-61.
100. Рыжакова М.Г. Геоэкологические аспекты обращения с ТБО, содержащими опасные компоненты / М.Г. Рыжакова, В.А. Масликов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 8(23). – С. 48-66.
101. Самбуева З. В. Состав, свойства и утилизация летучей золы энергетических углей / З. В. Самбуева, А. М. Грипак // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 апреля 2020 года / ответственный редактор: Гуляев Г.Ю. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 18-22.
102. Седельникова Л. Л. Изменчивость коэффициента биологического поглощения тяжёлых металлов вегетативными органами *Hemerocallis hybrida* / Л. Л. Седельникова, О. В. Чанкина // Ученые записки Забайкальского государственного университета. – 2017. – Т. 12. – № 1. – С. 45-51.
103. Сибатуллина А. М. Измерение загрязненности речной воды (на примере малой реки Малая Кокшага): научно-учебное издание / А.М. Сибатуллина, П.М. Мазуркин, А.М. Сибатуллина, П. М. Мазуркин. – М.: Акад. Естествознания, 2009. – 71 с.
104. Смагин А.В. Экологическая оценка и технологии менеджмента городских почвенных ресурсов / А.В. Смагин // Докл. по экологическому почвоведению. – 2009. – № 1. – Вып. 11. – С.1-61
105. Сницаренко Н.И. Климат Улан-Удэ / Н.И. Сницаренко, Ц.А. Швер – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983 – 240 с.
106. Соломин И.А. Состав и свойства твердых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами / И. А. Соломин, В. И. Афанасьева // Природообустройство. – 2017. – № 3. – С. 82-90.
107. Сольский С.В. СТО ВНИИГ 08.09.01-1.2021. Методика расчёта гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий // СПб: АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева». 2021 – 109 с.
108. Состояние окружающей природной среды и природоохранная деятельность в республике Бурятия в 1998 г. Доклад государственного комитета РБ по экологии и природопользованию. – Улан-Удэ: Госкомэкологии РБ, 1999. – 267 с.
109. Степаненко Е.Е. Исследование химического состава фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов / Е.Е. Степаненко, О.А. Поспелова, Т.Г. Зеленская // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – №1-3. – С. 525- 527.

110. Стреляева А. Б. Исследования запылённости в жилой зоне, расположенной вблизи промышленных предприятий частицами PM10 и PM2,5 / А. Б. Стреляева, Л.М. Лаврентьева, В.В. Лупиногин, И. А. Гвоздков // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2(45). – С. 154.

111. Сымпилова Д.П. Ландшафтная структура и экологическое состояние пригородной зоны г. Улан-Удэ. / Д.П. Сымпилова, А.Б. Гырнинова, В.М. Корсунов – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2003. – 127 с.

112. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова): специальность 1.6.21 «Геоэкология»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. / Таловская Анна Валерьевна; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – Томск, 2022. – 46 с.

113. Таскин А.В. Анализ химического состава золошлаковых отходов ТЭС Дальневосточного региона как техногенных месторождений благородных металлов / А.В. Таскин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № S4. – С. 259-271.

114. Тас-Оол Л.Х. Алюмосиликатные микросферы зольных уносов теплоэлектростанции г. Кызыла / Л.Х. Тас-Оол, Н.Н. Янчат, Ж.Э. Чоксум // Вестник Тувинского государственного университета. – 2012. – № 3. – С. 33-37.

115. Трофимова Ю.В. Оценка полигона твердых промышленных и бытовых отходов как источника загрязнения подземных вод / Ю.В. Трофимова, А.В. Расторгуев // Инженерные изыскания. 2019. – Т. 13, № 3 / [Электронный ресурс], режим доступа: <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2019-13-3-xx-xx> (дата обращения 09.01.2024).

116. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза / Ф.И. Тютюнова. – М.: Наука, 1987. – 335 с.

117. Убугунов В.Л. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ / В.Л. Убугунов, В.К. Кашин – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004. – 128 с.

118. Федоров А.С. О новой классификации почв России (2004) / А.С. Федоров, П.А. Суханов, Г.А. Касаткина, Н.Н. Федорова // Вестник СПбГУ. – Сер. 7. – 2014. – Вып. 1. – С. 95-113.

119. Филиппова В. А. Химия биогенных элементов (лекция) / В.А. Филиппова, А.В. Лысенкова // Проблемы здоровья и экологии. – 2013. – №4 (38). – С. 72-78.

120. Хазанов Л.Г. Полигон твердых бытовых отходов как техногенный геологический объект / Л.Г. Хазанов // Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М. – 2003. – Вып. 5. – С. 195-197.

121. Харлямов Д.А. Оценка качества подземных вод территорий с разной антропогенно-техногенной нагрузкой / Д. А. Харлямов, Н. Н. Смирнова, Р. Н. Шарафутдинов, Г. В. Маврин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 2-2(116). – С. 28-33.
122. Холдаров Д. М. Коэффициент биологической поглощаемости растений в засоленных почвах и солончаках / Д. М. Холдаров, А. О. Собиров // *Universum: химия и биология*. – 2021. – № 1-1(79). – С. 23-25.
123. Царев Д.И. Дифференциация компонентов базитов при гранитизации (на примере Ошурковского апатитового месторождения, Западное Забайкалье) / Д.И. Царев, А.А. Батуева. – Новосибирск: издательство «ГЕО», 2013. – 135 с.
124. Царева М. В. Оценка влияния куриного помёта на физико-химические и физические свойства дерново-подзолистой почвы разного гранулометрического состава / М.В. Царева // Роль вузовской науки в развитии агропромышленного комплекса: Материалы международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 13–15 октября 2021 года. – Нижний Новгород: ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА. – 2021. – С. 114-119.
125. Чебыкин Е.П. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам / Е. П. Чебыкин, Л. М. Сороковикова, И. В. Томберг [и др.] // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2012. – Т. 20, № 5. – С. 613-631.
126. Чередова Т. В. и др. 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.
127. Чередова Т. В. Поведение тяжелых 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.
128. 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.
129. Чередова Т.В. Фитотоксичность снежного покрова на техногенно-измененных территориях г. Улан-Удэ / Т.В. Чередова, С.Г. Дорошкевич // *Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты внутренней Азии: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного эколога РФ, доктора географических наук, профессора А.Б. Иметхенова (1941-2016), Улан-Удэ, 15 октября 2021 года*. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2021. – С. 138-142.

130. Чередова Т.В. Химический состав растений полигонов бытовых отходов г. Улан-Удэ / Т. В. Чередова, С. Г. Дорошкевич // Эволюция биосферы и техногенез: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Чита: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 343-346.
131. Черногаева Г.М. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2021 год. / Г.М. Черногаева. – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2022 – 221 с. [Электронный ресурс], режим доступа: <http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2021.pdf> (дата обращения 20.07.2023).
132. Чурилов А.Е. Ванадийсодержащие ресурсы и химические способы их переработки / А.Е. Чурилов, Е.Г. Мукаев, А.В. Горбунова // Теория и технология металлургического производства – 2017. – №3 (22). – С. 30-33.
133. Шавва А.А. Морфологический состав отходов в городе Санкт-Петербурге / А.А. Шавва // Инновации и инвестиции – 2018. – №7. – С. 217-219.
134. Широких А. А. Грибы в биомониторинге наземных экосистем / А. А. Широких, А. В. Колупаев // Теоретическая и прикладная экология. – 2009. – № 3. – С. 4-14.
135. Шишов Л.Л. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
136. Щербакова Е.Я. Восточная Сибирь. Климат СССР. Вып. 5. / Е.Я. Щербакова – Л.: Гидрометеоздат, 1960 – 300 с.
137. Ягодин Б.А. Физиологическая роль лития и факторы, влияющие на его поступление в растения / Б.А. Ягодин, Г.А. Ступакова, С.Б. Виноградова // Агрехимия. – 1989. – № 7. – С. 116–121.
138. Alhogbi B., Al-Ansari Sh., El-Shahawi M.S. (2023). A Comparative Study on the Bioavailability and Soil-to-Plant Transfer Factors of Potentially Toxic Element Contamination in Agricultural Soils and Their Impacts: A Case Study of Dense Farmland in the Western Region of Saudi Arabia // Processes. Vol. 11. PP.2515. doi. 10.3390/pr11092515.
139. Baiocchi V., Napoleoni Q., Tesei M., Servodio G., Alicandro M., Costantino D. UAV for monitoring the settlement of a landfill. Eur. J. Remote Sens. 2019, 52, 41–52.
140. Bove, D., Merello, S., Frumento, D., Arni, S. A., Aliakbarian, B., & Converti, A. (2015). A Critical Review of Biological Processes and Technologies for Landfill Leachate Treatment. // Chemical Engineering & Technology V. 38(12). PP 2115–2126. doi:10.1002/ceat.201500257
141. Bovea M., Ibañez Forés V., Gallardo A., Colomer-Mendoza F. (2010). Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. // Waste management (New York, N.Y.). V.30. PP 2383-95. doi:10.1016/j.wasman.2010.03.001.

142. Bouzayani F., Aydi A., Abichou T. (2014). Soil contamination by heavy metals in landfills: Measurements from an unlined leachate storage basin. // *Environmental monitoring and assessment*. V. 186. PP 5033-5040. doi:10.1007/s10661-014-3757-y.
143. Byrne A.R., Tusek-Znidaric M. Studies of the uptake and binding of the trace metals in fungi, part I: accumulation and characterization of mercury and silver in the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus* // *Appl. Organometal. Chem.* 1990. V. 4. P. 43-48.
144. Byrne A.R., Tusek-Znidaric M., Puri B.K., Irgolic K.J. Studies of the uptake and binding of the trace metals in fungi, part II: arsenic compounds in *Laccaria amethystina* // *Organometal. Chem.* 1991. V. 5. P. 25-32.
145. Campbell R. et al. Landfill manuals. Landfill monitoring. 2nd Edition / Ireland. Environmental Protection Agency 2003. – 92 p.
146. El-Fadel, Mutasem & Bou-Zeid, Elie & Chahine, Walid & Alayli, B. (2002). Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content // *Waste management (New York, N.Y.)*. V.22. PP. 269-82. doi:10.1016/S0956-053X(01)00040-X.
147. Eleazer, W. E., Odle, W. S., Wang, Y.-S., & Barlaz, M. A. (1997). Biodegradability of Municipal Solid Waste Components in Laboratory-Scale Landfills // *Environmental Science & Technology*. V.31(3). PP. 911–917. doi:10.1021/es9606788
148. Farquhar, G. J. (1989). Leachate: production and characterization. *Canadian Journal of Civil Engineering*. V.16(3). PP.317–325. doi:10.1139/l89-057
149. Hong J., Li X., Zhaojie C.. (2010). Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. // *Waste management (New York, N.Y.)*. V. 30. PP 2362-9. doi:10.1016/j.wasman.2010.03.038.
150. Hu X. & Han Y. & Wang Y. & Zhang X. & Du L. (2022). Experiment on monitoring leakage of landfill leachate by parallel potentiometric monitoring method // *Scientific Reports*. 2022. V.12. doi:10.1038/s41598-022-24352-w.
151. Huang R., Jiang L., Shen X., Dong Z., Zhou Q., Yang B., Wang H. An efficient method of monitoring slow-moving landslides with long-range terrestrial laser scanning: A case study of the Dashu landslide in the Three Gorges Reservoir Region, China. *Landslides* 2019, 16, 839–855.
152. Incekara A.H., Delen A., Seker D.Z., Goksel C. Investigating the Utility Potential of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicles in the Temporal Monitoring of a Landfill. *Int. Soc. Photogramm. Remote Sens.* 2019, 8, 22.
153. Janas M. & Zawadzka A. Assessment of the Monitoring of an Industrial Waste Landfill // *Ecological Chemistry and Engineering S.* 2018. V. 25. P. 659-669. Doi 10.1515/eces-2018-0044.

154. Jarvis S. C., Robson A. D. Absorption and Distribution of Copper in Plants with Sufficient or Deficient Supplies // *Annals of Botany*. 1982. Vol.50, № 2. PP. 151-160.
155. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. London, New York: CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2011, 505 p.
156. Lega M. & Napoli R. A new approach to solid waste landfills aerial monitoring // Conference Paper Available: *Waste Management* 2008. 2008. Month 05. PP. 193-199. doi. 10.2495/WM080211
157. Lepsova A., Mejstrik V. Accumulation of trace elements in the fruiting bodies of macro-fungi in the Krusne Hory Mountains, Czechoslovakia // *Sci. Total Environ.* 1988. V. 76. № 2/3. P. 117-118.
158. Liu Y., Yang L., Yutong Ch., Yang J., Wang Ch. (2021). VFS-based OFSP model for groundwater pollution study of domestic waste landfill // *Environmental Science and Pollution Research*. V.28. PP. 1-24. doi:10.1007/s11356-021-12521-9
159. Lomova L. A. Comprehensive geocological assessment of the features of urbanized territories / L. A. Lomova, O. B. Istomina, A. Dooranov [et al.] // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. – 2023. – Vol. 15, No. 1. – P. 454-473. – DOI 10.12731/2658-6649-2023-15-1-454-473. – EDN XPQMLD.
160. Ma J., Niu X., Liu X., Wang Y., Wen T., Zhang, J. Thermal Infrared Imagery Integrated with Terrestrial Laser Scanning and Particle Tracking Velocimetry for Characterization of Landslide Model Failure. *Sensors* 2019, 20, 219.
161. Mello C.C.S., Salim D.H.C., Simões G.F. UAV-based landfill operation monitoring: A year of volume and topographic measurements. *Waste Manag.* 2022, 137, 253–263.
162. Morachevskaya E. V. Bioassay as a method of integral assessment for remediation of oil-contaminated ecosystems / E. V. Morachevskaya, L. P. Voronina // *Theoretical and Applied Ecology*. – 2022. – No. 1. – P. 34-43. – DOI 10.25750/1995-4301-2022-1-034-043. – EDN DADLRQ.
163. Official website of the European Union. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19.11. 2008 On waste and repealing certain Directives [Электронный ресурс], режим доступа: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/2018-07-05> (дата обращения 22.07.2023)
164. Official website of the US Environmental Protection Agency. Requirements for Municipal Solid Waste Landfills (MSWLFs) [Электронный ресурс], режим доступа: <https://www.epa.gov/landfills/requirements-municipal-solid-waste-landfills-mswlf/#groundwater> (дата обращения 21.07.2023)
165. Olabimtan S., Ndikilar Ch., Hafeez Y., Nasir M. (2023). Measurement of transfer factors from soil-to-plant/food crop of Naturally Occurring Radionuclide Materials (NORMs) in Nigeria: a review // *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*. Vol. 9. PP. 173-192. doi. 10.4314/dujopas.v9i3b.19.
166. Ostroumov S. A. Variant of method for toxicity assessment of chemicals using a non-animal bioassay / S. A. Ostroumov, X. Cai // *Научные горизонты*. – 2022. – No. 2(54). – P. 60-69.

167. Oyeboode O., Jimoh F., Ajibade S., Afolalu A., Oyeboode F. (2023). Strategic Monitoring of Groundwater Quality Around Olusosun Landfill in Lagos State for Pollution Reduction and Environmental Sustainability // *Nature Environment and Pollution Technology*, Vol. 22, № 2, 2023. P. 565-577. doi. 10.46488/NEPT.2023.v22i02.003.
168. Papale L., Guerrisi G., De Santis D., Schiavon G., Frate F. (2023). Satellite Data Potentialities in Solid Waste Landfill Monitoring: Review and Case Studies // *Sensors*. 2023. V. 23. P. 3917. doi. 10.3390/s23083917.
169. Pasternak G., Zaczek-Peplinska J., Pasternak K., Józwiak J., Pasik M., Koda E., Vaverková, M. (2023). Surface Monitoring of an MSW Landfill Based on Linear and Angular Measurements, TLS, and LIDAR UAV. // *Sensors*. 2023. V. 23. P. 1847. doi.10.3390/s23041847.
170. Podlasek, Anna & Vaverková, Magdalena & Koda, Eugeniusz & Jakimiuk, Aleksandra & Martínez Barroso, Petra. (2023). Characteristics and pollution potential of leachate from municipal solid waste landfills: Practical examples from Poland and the Czech Republic and a comprehensive evaluation in a global context. // *Journal of environmental management*. V. 332. PP. 117328. doi.10.1016/j.jenvman.2023.117328.
171. Rose N.D. Hungr, O. Forecasting potential rock slope failure in open pit mines using the inverse-velocity method. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 2007. V. 44. PP. 308–320.
172. Schiopu A-M. & Gavrilescu M. Municipal solid waste landfilling and treatment of resulting liquid effluents // *Environmental Engineering and Management Journal*. 2010. V. 9. PP. 993-1019. doi.10.30638/eemj.2010.133.
173. Štroner M., Urban R., Línková, L. A New Method for UAV Lidar Precision Testing Used for the Evaluation of an Affordable DJI ZENMUSE L1 Scanner. *Remote Sens*. 2021. V.13, P.4811.
174. Tabak H.H., Lens P., van Hullebusch E.D., Dejonghe W. Developments in bioremediation of soils and sediments polluted with metals and radionuclides – 1. Microbial processes and mechanisms affecting bioremediation of metal contamination and influencing metal toxicity and transport // *Reviews in Environmental Science and Bio /Technology*. 2005. V. 4. № 3. P. 115–156.
175. Thushari I., Vicheanteab J., Janjaroen D. (2020). Material flow analysis and life cycle assessment of solid waste management in urban green areas, Thailand. // *Sustainable Environment Research*. V. 30. doi:10.1186/s42834-020-00057-5.
176. Wang Y., Levis J., Barlaz M. (2021). Life-Cycle Assessment of a Regulatory Compliant U.S. Municipal Solid Waste Landfill. // *Environmental Science and Technology*. V. 55. P. 13583-13592. doi:10.1021/acs.est.1c02526.
177. Yilmaz O. et al., Hazardous waste management system design under population and environmental impact considerations, *Journal of Environmental Management* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.015>

Нормативная литература

1. Конституция Российской Федерации, 1993 [Электронный ресурс], режим доступа: <https://base.garant.ru/10103000/> дата обращения 17.11.2023
2. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7 от 10.01.2002 года (ред. от 26.03.2022) // [Электронный ресурс], режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 20.07.2023)
3. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон № 89 от 24.06.1998 года (ред. от 19.12.2022, с изм. от 30.05.2023) // [Электронный ресурс], режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения 20.07.2023)
4. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.12.2009 № 1036-ст) // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://base.garant.ru/72147728/> (дата обращения 01.08.2023)
5. ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06 Т 16.1:2.3:3.9-06 «Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna* Straus)». – М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 2011. – 45 с.
6. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 56598-2015 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Общие требования к полигонам для захоронения отходов» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2015 г. N 1419-ст) // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://base.garant.ru/71366984/> (дата обращения 01.08.2023)
7. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"» // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://rg.ru/documents/2021/02/04/rospotrebnadzor-post2-site-dok.html?ysclid=ll1vldpbli365548303>, (дата обращения 08.08.2023)
8. Постановление Правительства РФ от 09.08.2013 г. № 681 «О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)» // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://base.garant.ru/70430724/> (дата обращения 20.07.2023)

9. Постановление Правительства РФ от 13.04.2017 г. № 445 «Об утверждении Правил ведения государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде» (с изменениями и дополнениями) // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://base.garant.ru/71656476/> (дата обращения 20.07.2023)

10. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 326 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» (с изменениями и дополнениями) // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://base.garant.ru/70643488/> (дата обращения 20.07.2023)

11. Приказ Министерства природных ресурсов республики Бурятия от 29.04.2020 г. № 159-ПР «Об утверждении территориальной схемы в области обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Республики Бурятия» // [Электронный ресурс], режим доступа <https://base.garant.ru/73969411/> (дата обращения 20.07.2023)

12. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 10 марта 2020 года) // [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document> (дата обращения 22.06.2021 г.)

13. Приказ Минприроды России от 08.12.2020 г. № 1030 «Об утверждении Порядка проведения собственниками объектов размещения отходов, а также лицами, во владении или в пользовании которых находятся объекты размещения отходов, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду» // [Электронный ресурс], режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372444/ (дата обращения 20.07.2023)

14. Приказ Минприроды России от 30.09.2011 г. № 792 «Об утверждении Порядка ведения государственного кадастра отходов» // [Электронный ресурс], режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121841/ (дата обращения 20.07.2023)

15. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 г. № 242 (ред. от 16.05.2022) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (Зарегистрировано в Минюсте России 08.06.2017 № 47008) // [Электронный ресурс], режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/ (дата обращения 01.06.2023)

16. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» // [Электронный ресурс], режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/573500115/titles/7EC0KG> (дата обращения 10.06.2023)

17. Свод правил СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2020 г. N 859/пр) // [Электронный ресурс], режим доступа <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/82b/SP-131.pdf> (дата обращения 12.07.2023)
18. Свод правил. Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация СП 320.1325800.2017 [Электронный ресурс], адрес: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/16294/> (дата обращения 12.07.2023)
19. СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (Приказ Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1033/пр) // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/13629/> (дата обращения 31.07.2023)
20. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года // [Электронный ресурс], режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения 20.07.2023)
21. ФР.1.39.2007.03222 «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний» // М.: «Акварос», 2007 – 51 с.

Фондовая литература

1. Гофман А.М. Отчет о научно-исследовательской работе «Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды БурАССР» за 1980-84 гг. Улан-Удэ: ГИН БФ СО АН СССР, 1984. – 176 с.
2. Жбанов Э.Ф. Свалки, твердые коммунальные и промышленные отходы на территории Бурятской ССР. Отчет Центральной эколого-геохимической партии по договору о с Госкомэкологией за 1991-1992 гг. / Э.Ф. Жбанов, А.С. Одегов, В.Ф. Слободин В.Ф [и др]. – Улан-Удэ: Государственный комитет по экологии и природопользованию Бурятской АССР, Центральная геолого-геофизическая экспедиция ПГО «Бурятгеология», 1992. – 58 с.
3. Замана Л.В. Результаты разведки участка Централизованного водозабора г. Улан-Удэ. Отчет о работе Улан-Удэнской ГГРП за 1968-69 гг. с подсчетом запасов подземных вод по состоянию на 01.05.1969. – Улан-Удэ: БурТГФ, 1969.
4. Замана Л.В. Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды г. Улан-Удэ. Экология г. Улан-Удэ. Тема 12 (3.18.1.4) / Л.В. Замана, И.М. Борисенко, А.М. Гофман [и др.]. – Улан-Удэ: ГИН БФ СО АН СССР. БурТГФ, 1979.
5. Замана Л.В., Шульга Ф.И. Отчет Улан-Удэнской гидрогеологической партии по результатам работ за 1960-62 гг. (листы М-48-12-А, В). – Улан-Удэ: БурТГФ, 1962.

6. Карбаинов А.А. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Уда-Тугнуй. Трапедии М – 48-12-Г, -36-А (б, г), -36-Б и М-49-13-В (в, г). Отчет Калиновской ПСП за 1979-1980 гг. / А.А. Карбаинов, В.Е. Леонов, А.А. Барская и др. – Улан-Удэ: БурТГФ, 1981.
7. Литвиненко В.А. Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист М-48-VI (Улан-Удэ). Объяснительная записка. – М.: ВГФ, 1974. – 46 с.
8. Литвиненко Т.Е., Максимова Г.И., Траутман Н.С. Результаты исследования режима и баланса подземных вод Бур.АССР и контроля за их охраной. Отчет комплексной ГГИГП за 1983г. Вып. 8. – Улан-Удэ: БурТГФ, 1984.
9. Михайлов М.П. Геологическое строение и полезные ископаемые северо-восточной оконечности хр. Хамар-Дабан. Листы М-48-VI (-11 Б, -12- А-а, -в) и N-48-XXXVI (-143 Г и -144 В). Поисковая оценка Усутайского проявления марганца (N-48-132-Г) и Широкинского проявления меди (N-48-132-В). Отчет о работах Татауровской ГСП за 1968-70 гг. / М. П. Михайлов, Е.В. Субботин [и др.] – Улан-Удэ: БурТГФ, 1971.
10. Одегов А.С. Результаты рекогносцировочной эколого-геохимической съемки города Улан-Удэ. Отчет центральной эколого-геохимической партии за 1991 г. – Улан-Удэ: БурТГФ 1991.
11. Скобло В.М., Лямина Н.А. Биостратиграфия и основные фациальнолитологические особенности отложений Гусиноозерской серии (Зап. Забайкалье). Окончательный отчет о работе по теме 110 за 1964-66 гг. Предварительный отчет о работе по теме 130 за 1966 г. – Улан-Удэ: БурТГФ, 1967.
12. Скобло В.М., Лямина Н.А., Храмовских С.В. Биостратиграфофациальный анализ угленосных и редкометальных отложений верхнего мезозоя БурАССР и математические методы их изучения. Отчет по теме 185 за 1969-71 гг. – Улан-Удэ: БурТГФ, 1971.
13. Соколовская А.В., Шульга Ф.И., Курочкина Л.Ф. и др. Эколого-гидрохимическая оценка природной среды Улан-Удэнского промузла за 1987-1990 гг. Тема 395. Бурятская АССР. / Соколовская А.В., Шульга Ф.И., Курочкина Л.Ф. и др. – Улан-Удэ: БурТГФ, 1991 – 236 с.
14. Архив Администрации МО Иволгинский район Республики Бурятия, «Рекультивация полигона ТБО в с. Сотниково Иволгинского района Республики Бурятия», пояснительная записка (шифр 7/17 ПЗ), разработчик ООО «Байкалэкосервис», 2017.
15. Архив Администрации МО Иволгинский район Республики Бурятия, «Рекультивация полигона ТБО в с. Сотниково Иволгинского района Республики Бурятия», инженерные изыскания (инв.номер № У-1175), разработчик ООО «Байкалгеопроект», 2017.
16. Архив АО У-УАЗ, официальное письмо от 18.10.1991 г. № 15356-35.

17. Архив АО У-УАЗ. Акт о приемке в эксплуатацию рабочей комиссией законченного строительством отдельно стоящего здания, сооружения, встроенного или пристроенного помещения производственного и вспомогательного назначения, входящего в состав объекта, 1992.
18. Архив АО У-УАЗ. Проект рекультивации «953 ГП Рекультивация свалки в п. Загорск», 1990.
19. Архив АО У-УАЗ. Протоколы определения компонентного состава и класса опасности отходов Улан-удэнского авиационного завода, 2009.
20. Архив АО У-УАЗ. Рабочий проект по рекультивации нарушенного земельного участка с использованием золошлаковых и строительных отходов // АО «Улан-Удэнский авиационный завод», Улан-Удэ, 2011 – 155 с.
21. Архив АО У-УАЗ. Шульга Ф.И. Заключение на проект рекультивации, 1990.
22. Архив МБУ «Комбинат по благоустройству г. Улан-Удэ», «Рекультивация свалки п. Стеклозавод в г. Улан-Удэ Республики Бурятия», пояснительная записка (шифр БКП-Ф.2018.200173-ПЗ), разработчик ООО «БКП Плюс», 2018.
23. Архив МБУ «Комбинат по благоустройству г. Улан-Удэ», «Рекультивация свалки п. Стеклозавод в г. Улан-Удэ Республики Бурятия», инженерные изыскания (шифр БКП-Ф.2018.200173-ИГИ), разработчик ООО «БКП Плюс», 2018.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Географические координаты точек отбора проб на свалках

Наименование точки	Географические координаты	Примечание
п. Сотниково		
т. 1 (фон)	N51°51'53.6207" E107°27'42.9704"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 2 (фон 2)	N51°51'38.3890" E107°28'12.3024"	Почва, Растения, конденсат
т. 3 (тело свалки)	N51°51'27.1896" E107°28'21.2438"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 4 (тело свалки)	N51°51'26.3189" E107°28'23.2426"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 5 (тело свалки)	N51°51'25.4661" E107°28'25.0772"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 6 (скважина № 1)	N51°51'24.4582" E107°28'29.7120"	Почва, растения, конденсат, подземные воды, глубина скважины 50 м
т. 7 (скважина № 2)	N51°51'23.9573" E107°28'40.5267"	Почва, растения, конденсат
т. 8 (зона влияния на расстоянии около 1 км от границы свалки)	N51°51'23.5100" E107°29'17.6249"	Почва, растения
п. Стеклозавод		
т. 1 (фон)	N51°53'02.6533" E107°34'26.6161"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 2 (тело свалки)	N51°52'55.5247" E107°34'13.7930"	Снег, почва, растения
т. 3 (тело свалки)	N51°52'54.7976" E107°33'59.5794"	Снег, почва, растения, конденсат
п. Площадка		
т. 1 (фон)	N51°50'36.8913" E107°42'53.6777"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 2	N51°50'41.3774" E107°43'02.3680"	Подземные воды, наблюдательная скважина №1, глубина скважины 24,94 м
т. 3 (тело свалки)	N51°50'40.7570" E107°43'02.1363"	Снег, почва, растения
т. 4 (тело свалки)	N51°50'39.4446" E107°43'02.2521"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 5	N51°50'30.7348" E107°43'04.2220"	Подземные воды, наблюдательная скважина № 2, глубина скважины 25,45 м
падь Бабасанова		
т. 1 (фон)	N51°53'13.6225" E107°45'18.0109"	Снег, почва, растения, конденсат, подземная вода, глубина скважины 4 м.
т. 2 (фон)	N51°52'57.3635" E107°45'26.2184"	Почва, растения, конденсат
т. 3 (тело свалки)	N51°52'49.7459" E107°45'30.8533"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 4 (тело свалки)	N51°52'48.6015" E107°45'30.9402"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 5 (тело свалки)	N51°52'49.2333" E107°45'33.6439"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 6 (тело свалки)	N51°52'47.8623" E107°45'32.9486"	Снег, почва, растения, конденсат
т. 7 (под телом свалки)	N51°52'48.1723" E107°45'35.8068"	Грунт, бурение разведывательной скважины
т. 8 (под телом свалки)	N51°52'43.4871" E107°45'45.8200"	Грунт, бурение разведывательной скважины
т. 9 (зона влияния)	N51°52'37.8506" E107°45'55.9081"	Скважина в жилом массиве, подземные воды, глубина скважины 42 м
т. 10 (зона влияния)	N51°52'26.5733" E107°46'37.3741"	Скважина в жилом массиве, подземные воды, глубина скважины 40 м
т. 11 (зона влияния)	N51°52'12.0683" E107°45'41.3310"	Скважина в жилом массиве, подземные воды, глубина скважины 20 м
т. 12 (зона влияния)	N51°52'06.8297" E107°47'00.3814"	Почва, растения, конденсат

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Рис. Б.1 – Свалка падь Бабасанова общий вид, зима 2021



Рис. Б.2 – Свалка падь Бабасанова общий вид, лето 2023

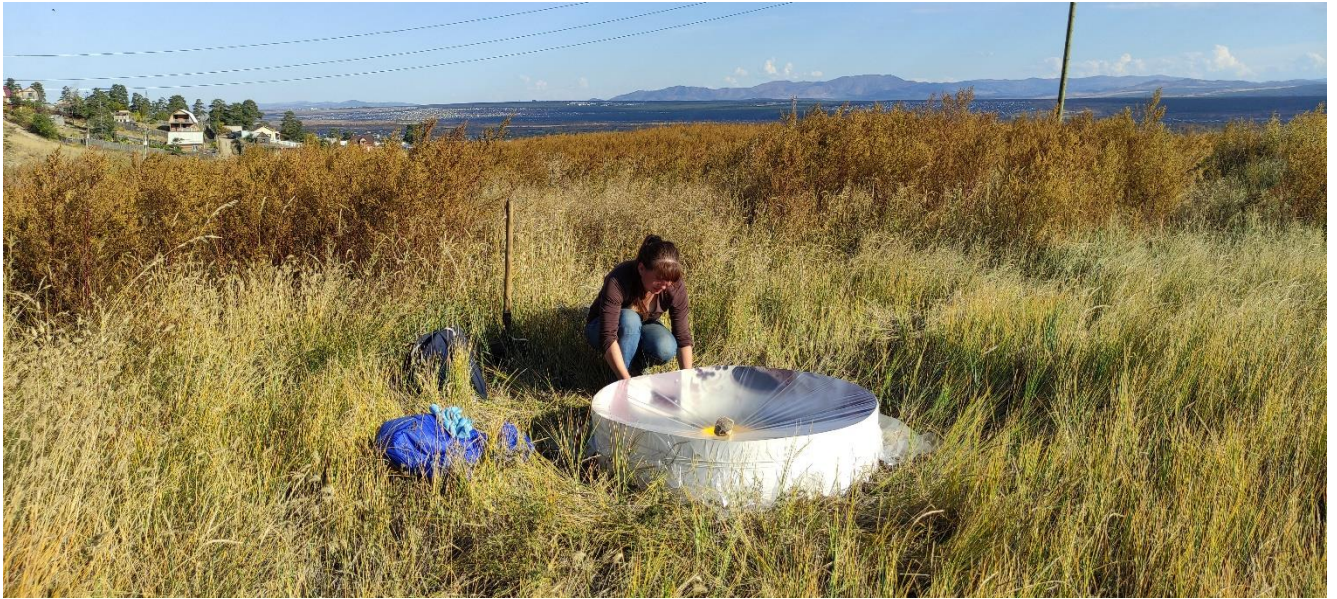


Рис. Б.3 – Свалка падь Бабасанова отбор проб конденсата, 2022



Рис. Б.4 – Свалка падь Бабасанова, фон, отбор проб воды, 2023



Рис. Б.5 – Свалка падь Бабасанова, отбор проб снега, 2022



Рис. Б.6 – Свалка падь Бабасанова, отбор проб растений, 2022



Рис. Б.7 – Площадка рекультивации золошлаковых отходов, общий вид, зима 2021



Рис. Б.8 – Площадка рекультивации золошлаковых отходов, общий вид, лето 2022



Рис. Б.9 – Площадка рекультивации золошлаковых отходов, отбор проб снега, 2022



Рис. Б.10 – Свалка п. Стеклозавод, общий вид, зима 2021



Рис. Б.11 – Свалка п. Стеклозавод, общий вид, лето 2022



Рис. Б.12 – Свалка п. Стеклозавод, отбор проб снега, 2021



Рис. Б.13 – Свалка п. Стеклозавод, отбор проб конденсата, 2022



Рис. Б.14 – Свалка п. Стеклозавод, почвенный разрез, 2022



Рис. Б.15 – Свалка п. Сотниково, отбор проб снега, 2021



Рис. Б.16 – Свалка п. Сотниково, отбор проб подземных вод, 2023



Рис. Б.17 – Свалка п. Сотниково, общий вид, осень, 2023



Рис. Б.18 – Свалка п. Сотниково, общий вид, лето, 2022



Рис. Б.19 – Свалка п. Сотниково, на теле свалки, лето, 2022

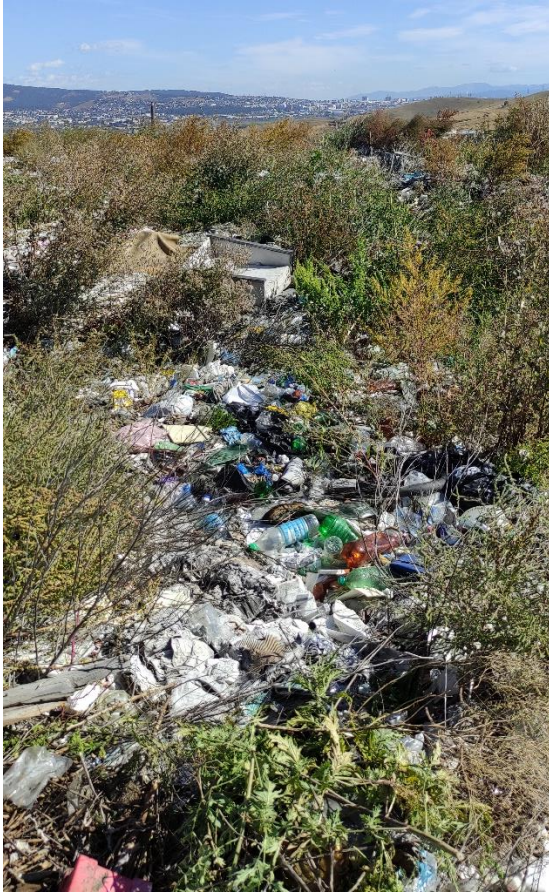


Рис. Б.20 – Свалка п. Сотниково, на теле свалки, 2022







Рис. Б.21 – Свалка п. Сотниково, разрез грунта, 2021









Рис. Б.22 – Свалка п. Сотниково, отбор проб конденсата, 2021





ПРИЛОЖЕНИЕ В



**Морфологическое описание почв/грунтов объектов захоронения отходов и прилегающих территорий
в пределах Улан-Удэнской агломерации**

Фотографическое изображение ландшафта	Фотографическое изображение почвы	Горизонт Глубина, см	Морфологическое описание разреза (Р), полу-ямы (П), прикопки (Пр)
Свалочное тело полигона ТКО п. Сотниково – Нарушенные земли (артиурбистраты)*			
 <p align="center">N51°51'26.3189" E107°28'23.2426"</p>		<u>~</u> 0-70	<p>Насыпной горизонт Светло-серо-коричневый, супесчаный, комковатый, увлажнен, рыхлый, обилие включений бытового мусора (до 90 % от объема), корни древесных и травянистых растений, слабо-разложившиеся органические остатки, щебень, дресва, галька</p>
Фоновый участок в пади, расположенной выше по рельефу от свалочного тела полигона ТКО п. Сотниково – Дерновая лесная почва			
 <p align="center">N51°51'53.6207" E107°27'42.9704"</p>		<p><u>Адер</u> 0-1</p> <p><u>А1</u> 1-28</p> <p><u>В</u> 28-57</p>	<p>Дернина</p> <p>Светло-серый с коричневым оттенком, супесчаный, непрочно комковатый, мелко комковатый, сухой, уплотнен, обилие корней, переход в нижележащий горизонт постепенный по цвету</p> <p>Светло-коричневый с серым оттенком, супесчаный, непрочно комковатый, комковатый, сухой, уплотнен, корни, на глубине 35-55 см наблюдаются отдельные осветленные пятна,</p>

Фотографическое изображение ландшафта	Фотографическое изображение почвы	<u>Горизонт</u> Глубина, см	Морфологическое описание разреза (Р), полу-ямы (П), прикопки (Пр)
			переход в нижележащий горизонт постепенный по цвету
		С 57-80	Светло-коричневый, супесчаный, непрочный комковатый, комковатый, увлажнен, уплотнен, единичные корни в верхней части горизонта
Свалочное тело полигона ТКО п. Стеклозавод – Нарушенные земли (урбиквазизёмы)*			
 <p data-bbox="286 927 752 959">N51°52'54.7976" E107°33'59.5794"</p>		I 0-14	Светло-серый с коричневым оттенком, супесчаный, непрочный комковатый, мелко комковатый, сухой, уплотнен, обилие корней, гравий, валуны, щебень, переход в нижележащий горизонт постепенный по цвету
		II 14-28	Светло-коричневый, опесчаненный легкий суглинок, комковатый, сухой, уплотнен, в верхней части на глубине 14-16 см светло-коричневая глинистая полоса, корни, гравий, валуны, щебень
Фоновый участок на пологом склоне, расположенном выше по рельефу от свалочного тела полигона п. Стеклозавод – Дерновая лесная почва			
		Адер 0-1	Дернина
		A1 1-22	Светло-серый с коричневым оттенком, супесчаный, мелко комковатый, сухой, уплотнен, обилие корней, щебень, дресва, переход в нижележащий горизонт постепенный по цвету
		A1B 22-37	Неоднородный по цвету – светло-серый с коричневым оттенком и светло-коричневыми пятнами, супесчаный, комковатый, сухой,

Фотографическое изображение ландшафта	Фотографическое изображение почвы	Горизонт Глубина, см	Морфологическое описание разреза (Р), полу-ямы (П), прикопки (Пр)
 <p data-bbox="286 568 752 596">N51°53'02.6533" E107°34'26.6161"</p>		<p data-bbox="1357 363 1435 427">В 37-50</p>	<p data-bbox="1541 248 2181 352">уплотнен, обилие корней, щебень, дресва, переход в нижележащий горизонт постепенный по цвету</p> <p data-bbox="1541 360 2181 464">Светло-коричневый, супесчаный, комковатый, увлажнен, уплотнен, единичные корни в верхней части горизонта, щебень, дресва</p>
Свалочное тело полигона п. Площадка – Нарушенные земли (артнииндустраты)*			
 <p data-bbox="286 1035 752 1064">N51°50'40.7570" E107°43'02.1363"</p> 		<p data-bbox="1361 743 1429 807">2 0-53</p>	<p data-bbox="1541 716 2181 967">Неоднородный по цвету – светло-коричневый с серым оттенком с пятнами и полосками серого и светло-коричневого цвета, супесчаный, непрочно комковатый, мелко комковатый, сухой, плотный, корни, обилие гравия, щебня и дресвы, на глубинах 21-29, 37-40 см прослойки шлака</p>

Фотографическое изображение ландшафта	Фотографическое изображение почвы	<u>Горизонт</u> Глубина, см	Морфологическое описание разреза (Р), полу-ямы (П), прикопки (Пр)
Фоновый участок на пологом склоне, расположенном на некотором отдалении от свалочного тела полигона п. Площадка – Нарушенные земли (урбиквазизёмы)*			
 <p data-bbox="286 683 752 711">N51°50'36.8913" E107°42'53.6777"</p>		<p data-bbox="1361 352 1424 421">≈ 0-10</p> <p data-bbox="1361 587 1424 655">II 10-35</p>	<p data-bbox="1541 325 2179 576">Неоднородный по цвету – светло-коричневый с серым оттенком с пятнами и прослойками серого и светло-коричневого цвета, супесчаный, непрочо комковатый, мелко комковатый, сухой, уплотнен, корни, щебень, единичные обломки кирпича, битое стекло, на глубинах 2-3 и 7-9 прослойки шлака</p> <p data-bbox="1541 587 2179 759">Светло-коричневый, супесь, комковатый, сухой, плотный, на глубине 18-22 см светло-серая вертикальная полоса, корни, гравий, валуны, щебень, на глубине 25-27 см прослойки шлака</p>
Свалочное тело полигона в местности падь Бабасанова – Нарушенные земли (токсииндустраты)*			
 <p data-bbox="286 1241 752 1270">N51°52'48.6015" E107°45'30.9402"</p>		<p data-bbox="1361 911 1424 979">≈ 0-50</p>	<p data-bbox="1541 884 2179 1390">Неоднородный по цвету и гранулометрическому составу – светло-коричневый супесчаный, светло-коричневый легкий суглинок, светло-серый с коричневым оттенком опесчаненный легкий суглинок, комковатый, мелко и средне комковатый, непрочо комковатый, увлажнен, уплотнен, обилие включений – битое стекло, бутылки, жестяные банки, пластиковый мусор, битый кирпич, битый шифер, ржавые железяки, слаборазложившиеся органические остатки, щебень, дресва, галька, пленка оглеения по граням структурных отдельностей, корни древесных и травянистых растений</p>

Фотографическое изображение ландшафта	Фотографическое изображение почвы	Горизонт Глубина, см	Морфологическое описание разреза (Р), полу- ямы (П), прикопки (Пр)
Фоновый участок, расположенный выше по рельефу от свалочного тела полигона в местности падь Бабасанова – Дерновая лесная почва			
 <p data-bbox="286 644 752 671">N51°53'13.6225" E107°45'18.0109"</p>		<u>A1</u> 0-21	Серый, опесчаненный легкий суглинок, комковатый. мелко комковатый, свежий, уплотнен, обилие корней, дресва, единичный щебень, пленка оглеения по граням структурных отдельностей, переход в нижележащий горизонт постепенный по цвету
		<u>B</u> 21-48	Светло-серый с коричневым оттенком, опесчаненный легкий суглинок, комковатый. мелко комковатый, свежий, плотный, корни, слабо окатанная галька, пленка оглеения по граням структурных отдельностей

Прим.: * - Название почвы/грунтов указано по Классификации 1977 г (в скобках – по Классификации 2004 г)

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

**Результаты корреляционного анализа содержания Ni, Cu, Zn Cd, Sb
в надземных и подземных частях растений в ПК Statistica 10**

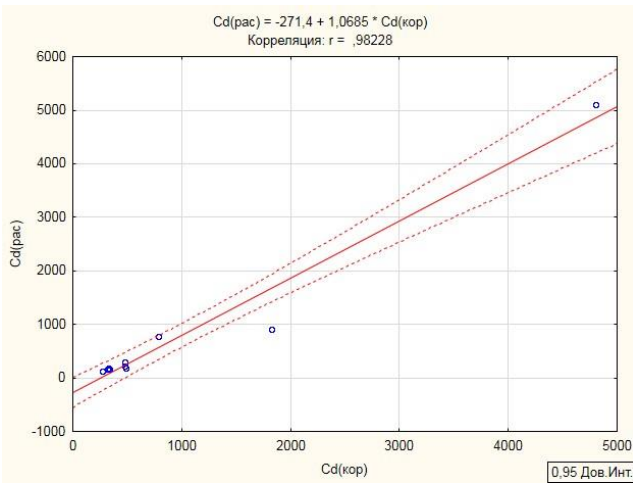


Рис.В1 – Содержание Cd в подземной (кор) и надземной (рас) частях растений

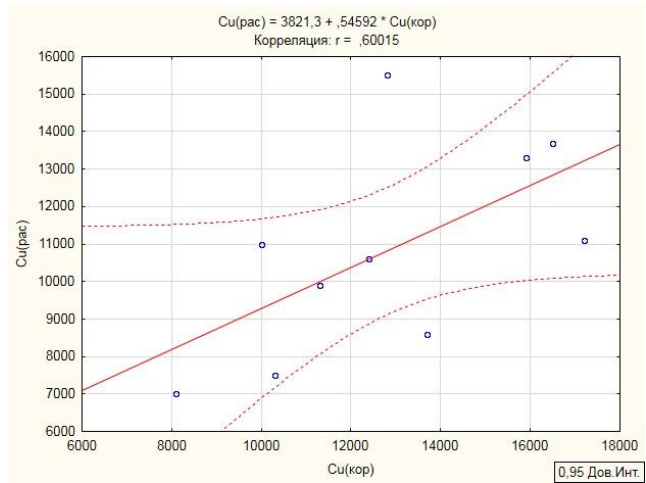


Рис.В2 – Содержание Cu в подземной (кор) и надземной (рас) частях растений

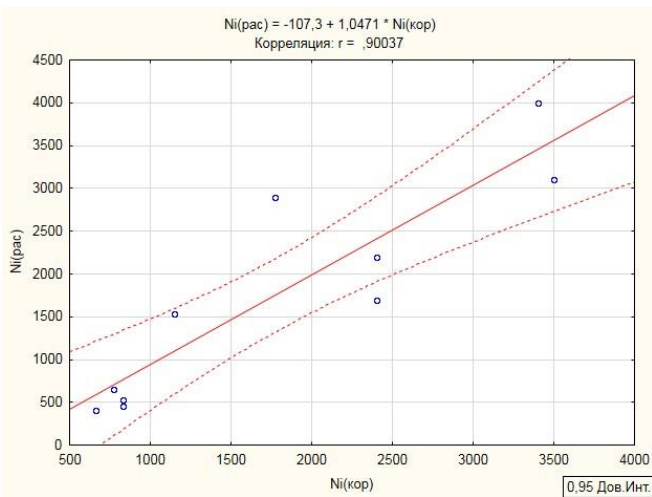


Рис.В3 – Содержание Ni в подземной (кор) и надземной (рас) частях растений

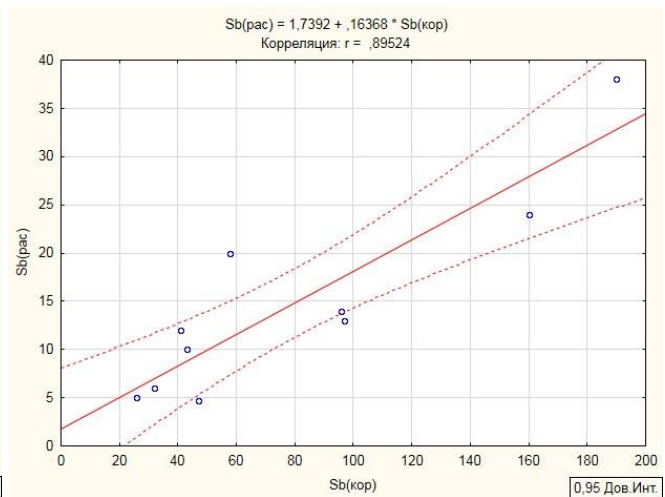


Рис.В4 – Содержание Sb в подземной (кор) и надземной (рас) частях растений

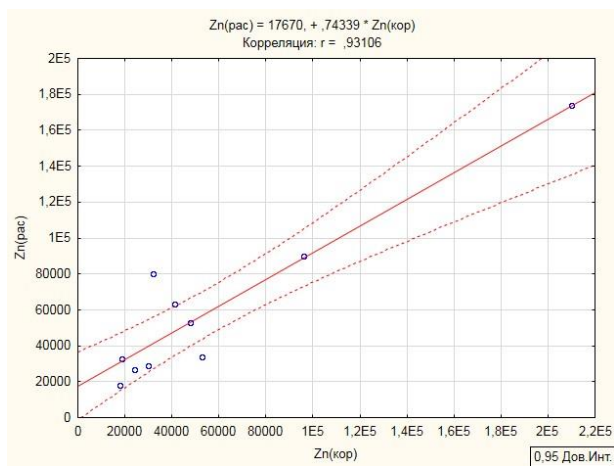


Рис.В5 – Содержание Zn в подземной (кор) и надземной (рас) частях растений