МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНО-
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, БИОЛОГИИ И ХИМИИ

Химико-экологическое состояние почв территории посёлка Первомайского Коркинского муниципального округа Челябинской области

Выпускная квалификационная работа по направлению
05.03.06 Экология и природопользование

Направленность программы бакалавриата
«Природопользование»
Форма обучения очная

Проверка на объем заимствований:
68,36 % авторского текста

Работа рекомендована к защите
рекомендована/не рекомендована

«15» 05 2026 г.
Зав. кафедрой географии, биологии и химии
_____ Малаев А.В.

Выполнила:
Студентка группы ОФ-423/058-4-1
Фасхутдинова Евгения Максимовна
_____

Научный руководитель:
Канд. химических наук, доцент
Сутягин Андрей Александрович
_____

Челябинск
2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ... 3

ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХИМИКО–ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ... 6

1.1 Почва как объект экологического контроля: функции, свойства, уязвимость к антропогенному воздействию ... 6

1.2 Основные источники и классификация загрязняющих веществ в почвах урбанизированных и промышленных территорий, критерии оценки почв ... 12

1.3 Тяжёлые металлы и органическое вещество почвы ... 19

Выводы по первой главе ... 31

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ... 33

2.1 Описание территории исследования, отбора и пробоподготовки для почвенного анализа ... 33

2.2 Использование фотометрического метода анализа для определения химико-экологических показателей почв ... 40

2.3 Использование титриметрического метода анализа для определения химико-экологических показателей почв ... 44

Выводы по второй главе ... 47

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ ПОСЁЛКА ПЕРВОМАЙСКИЙ ... 49

3.1 Количественное определение содержания тяжёлых металлов в исследуемых почвах ... 49

3.2 Количественное определение содержания общих химических показателей в исследуемых почвах ... 51

Выводы по третьей главе ... 56

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 58

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ... 60

ПРИЛОЖЕНИЯ ... 66

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров является ключевым компонентом окружающей среды, выполняющим важнейшие экологические функции: депонирующую, буферную, трансформационную. Именно почва выступает в качестве одного из первых звеньев, реагирующих на техногенные выбросы, выполняя роль депо поллютантов и индикатора длительной антропогенной нагрузки. В связи с этим, исследование почвенного компонента на территориях, подверженных техногенной нагрузке, выступает важной практической задачей.

Посёлок Первомайский Коркинского муниципального округа расположен в непосредственной близости от крупных горнодобывающих комбинатов, а также находится в зоне влияния Челябинского промышленного узла, включающего предприятия черной и цветной металлургии, теплоэнергетики, машиностроения. Многолетнее функционирование данных производств сопровождается поступлением в окружающую среду широкого спектра загрязняющих веществ, среди которых особую опасность представляют тяжёлые металлы (медь, кобальт, железо, цинк), способные накапливаться в почве и включаться в трофические цепи.

Тяжёлые металлы токсичны, активны и способны к биоаккумуляции. Они опасны для всего живого на Земле. Большинство из них сохраняют свою биологическую активность в течение длительного времени. Кроме того, они способны перемещаться по пищевой цепи от почвы (одного из основных аккумуляторов загрязняющих веществ) к организму человека через продукты питания. Поэтому определение количественного содержания тяжёлых металлов в почвенном компоненте окружающей среды является актуальной задачей экологического мониторинга.

Особого внимания требует тот факт, что почвы селитебных территорий посёлка непосредственно влияют на качество жизни населения. Жители используют приусадебные участки для выращивания сельскохозяйственной продукции, что создает дополнительные риски поступления токсикантов в сельскохозяйственную продукцию, а через неё – в организм человека. Несмотря на экологическую напряженность исследуемой территории, исследования химико-экологического состояния почв данного поселка, включающие анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов и их взаимосвязи с химическим составом почв, до настоящего времени не проводились, либо носили фрагментарный характер. Это определяет актуальность настоящего исследования.

Цель исследования – изучить общие химические показатели и степень загрязнения тяжёлыми металлами почв посёлка Первомайский Коркинского муниципального округа Челябинской области.

Цель исследования была реализована через ряд **задач**:

1. Провести анализ информационных источников для изучения вопроса путей поступления тяжёлых металлов в почвы, а также влияния на их миграцию различных факторов почвенной среды;
2. Провести анализ возможных источников техногенного воздействия на территорию посёлка Первомайский Коркинского муниципального округа Челябинской области;
3. Провести количественный анализ содержания тяжёлых металлов (медь, железо, кобальт, цинк) и химико-экологических показателей, обуславливающих миграцию поллютантов.

Объект исследования – почвы селитебных территорий посёлка Первомайского Коркинского муниципального округа Челябинской области.

Предметом исследования является химико-экологическое состояние почв территории посёлка Первомайского Коркинского муниципального округа.

Новизна исследования – предпринята попытка исследовать основные химические показатели и содержание наиболее распространенных тяжёлых металлов в почвах территории посёлка Первомайского Коркинского муниципального округа.

Практическая значимость исследования состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы:

— администрацией Коркинского муниципального района при планировании природоохранных мероприятий;

— территориальными органами Росприроднадзора и Роспотребнадзора при проведении экологического контроля и социально-гигиенического мониторинга;

— населением посёлка для корректировки хозяйственной деятельности на приусадебных участках.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 82 страницах, содержит рисунков 19 и 12 таблиц. Список использованных источников включает в себя 49 наименований.

ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХИМИКО–ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

1.1 Почва как объект экологического контроля: функции, свойства, уязвимость к антропогенному воздействию

Первое научное определение понятия «почва» дал В.В. Докучаев, показав, что почва – это самостоятельное природное тело, образовавшееся в результате совокупной деятельности пяти факторов почвообразования: материнской породы, растительных и животных организмов, климата, рельефа местности, возраста страны. Более позднее определение почвы дал В.Р. Вильямс: почвой называется рыхлый слой земной коры, способный производить урожай растений [21].

Изучением роли почвы и ее экологических функций в биосфере - область почвоведения, основные положения которого, как науки, сформулированы Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным в 1980–х гг. При этом, почва рассматривается как область активного взаимодействия геосфер Земли, в которой сфокусированы общие закономерности функционирования природных систем. В результате почва объединяет литосферу, атмосферу, гидросферу, растительный и животный мир, обеспечивая устойчивость биосферы в целом. Следствием системной организации почвы и ее биокосной природы является многообразие экологических функций, что обуславливает полифункциональность почвы как природной системы [23].

Другой отличительной особенностью почв является полихимизм. Почвы содержат весь набор химических элементов Периодической системы Д.И. Менделеева, встречающихся в природе. При этом, элементный состав почв, как качественно, так и количественно, существенно отличается от соответствующего состава живых организмов, минералов и горных пород,

выступающих в качестве исходного материала почвообразовательного процесса. Элементный состав почв разнообразен в зависимости от гранулометрического состава, типа почвы, структуры почвенного профиля и характеристик почвенных горизонтов, специфических свойств химического элемента и формы его нахождения в почве [28].

Функции почв подразделяются на 2 основные группы: экосистемные (биогеоценотические), которые реализуются на уровне конкретных биогеоценозов и глобальные, проявляющиеся в воздействии почвенного покрова на атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу Земли.

Экосистемные функции реализуются на уровне элементарных единиц биосферы – биогеоценозов и определяются тремя группами её свойств: физическими, химическими и биологическими.

1. Функции, связанные с физическими свойствами:

– пространство, пригодное для существования различных групп организмов;

– механическая опора, позволяющая растениям сохранить вертикальное положение, быть устойчивым к ветровалам и противодействовать силе тяжести;

– резерв семенного материала и зачатков растительных организмов.

2. Функции, связанные с химическими и физико-химическими свойствами:

– источник и депо элементов питания, энергии и влаги, как в форме легкодоступных, так и труднодоступных (законсервированные в аморфных и кристаллических минералах, гумусовых кислотах) для организмов соединений;

– сорбент и защитный барьер благодаря наличию почвенного поглощающего комплекса (тонкодисперсные минералы, гумус), который

обеспечивает удержание различных веществ, включая загрязнители, предотвращая их миграцию в сопредельные среды.

3. Информационные функции:

– сигнала для сезонных и других биологических процессов, контролируемая параметрами водного, теплового и других режимов;

– почвенная память – способность к накоплению информации о природной среде и её изменениях, позволяющая почве сохранять в своём составе, строении и свойствах свидетельство о прошлых временах и эпохах почвообразования.

4. Целостные функции:

– защитный и буферный экран, предохраняющий биогеоценозы от разрушающего действия эрозии, ухода биологически ценных газообразных соединений из почвы в атмосферу, потери элементов питания с нисходящим током влаги, резких колебаний гидротермического и пищевого режимов);

– аккумулятор и трансформатор вещества и энергии, преобразующий соединения, поступающие в почву с опадом, с атмосферным переносом, с грунтовыми водами и в ходе выветривания материнских пород [23].

Глобальные функции почвенного покрова проявляются в его воздействии на атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу в целом.

1. Литосферные функции:

– биохимическое преобразование верхних слоев литосферы, обеспечение поступления в кору выветривания атмосферной влаги, создавая при этом предпосылки для образования подвижного фонда химических элементов, участвующих в различных биогеохимических процессах);

– источник вещества для образования минералов, пород и полезных ископаемых;

– посредник передачи аккумулированной солнечной энергии в глубокие части литосферы.

2. Гидросферные функции:

– трансформация атмосферных осадков в почвенно-грунтовые воды;

– формирование речного стока и водного баланса;

– фактор биопродуктивности водоёмов за счет поступления вынесенных из почвы соединений в моря и океаны, где они потребляются животными и растениями.

3. Атмосферные функции:

– поглощение и отражение солнечной радиации, определяющее энергетический баланс нижних слоёв атмосферы;

– регулирование влагооборота, газового режима и состава атмосферы. При этом, в почвенном воздухе, по сравнению с атмосферным, значительно больше углекислого газа и меньше кислорода, присутствуют микрогазы (метан, сероводород и другие), что связано с процессами жизнедеятельности организмов и окисления органического вещества почв;

– источник поступления твёрдого вещества и микроорганизмов в атмосферу за счет дефляции, как основного механизма поступления в воздушную оболочку пылеватого материала.

4. Общебиосферные функции:

– среда обитания, аккумулятор и источник вещества и энергии для организмов суши;

– защитный барьер и условие нормального функционирования биосферы;

– связующее звено биологического и геологического круговоротов, аккумулирующее в своем составе биофильные химические элементы (азот, фосфор, калий, микроэлементы), использующее их совместно с растительным покровом в биологическом круговороте в

системе «почва – растение» и предотвращающее их вынос с поверхностным и речным стоком с территории суши в океан [23].

Почва как объект экологического контроля характеризуется различными свойствами, которые влияют на ее состояние и способность к самоочищению. Эти свойства включают физические, химические, биологические и микробиологические характеристики. Для целей экологического контроля и оценки химического загрязнения принципиальное значение имеют физико-химические свойства почвы, определяющие её поведение как сорбента и буферной системы [29].

1. Физические свойства:

– гранулометрический состав, определяющий условия увлажнения, воздушный и тепловой режимы, способность к поглощению минеральных веществ;

– плотность почвы (объёмный вес), характеризующий способность почвы менять объём и пористость при нагрузке и обработке, определяющая интенсивность водопоглощения, воздухообмена, жизнедеятельности биоты, развитие корневых систем.

2. Химические свойства.

– содержание и состав органического вещества (гумуса) тяжелые (глинистые) почвы, как правило, в большей степени накапливают загрязнители, чем лёгкие (песчаные);

– содержание загрязняющих веществ. Контролю подлежат неорганические (например, тяжёлые металлы) и органические (пестициды, фенолы, нитрозамины, бенз(а)пирен и другие ПАУ) вещества;

– кислотно-основные свойства (pH) – один из ключевых факторов, контролирующих подвижность тяжёлых металлов. В кислой среде (pH<5,5) большинство металлов (Cd, Zn, Cu, Pb) переходят в растворимые формы и становятся высокоподвижными и токсичными. В нейтральных и слабощелочных условиях их подвижность снижается

благодаря образованию труднорастворимых гидроксидов и карбонатов или закреплению на органическом веществе.

Несмотря на высокую буферную способность, почва является уязвимой системой по отношению к антропогенным нагрузкам. В отличие от атмосферы и водной среды, загрязнение почв носит, как правило, кумулятивный (накопительный) характер. Попавшие в почву токсиканты, особенно тяжёлые металлы, могут сохраняться в ней десятилетиями и даже столетиями, практически не подвергаясь разложению.

Устойчивость почв к антропогенному воздействию определяется их способностью сохранять свои функции и свойства при внешнем воздействии и возвращаться в исходное состояние после снятия нагрузки. Эта устойчивость зависит от всего комплекса вышеперечисленных свойств.

Деградация почв – процесс ухудшения их свойств и снижения плодородия, может проявляться в различных формах: эрозия, уплотнение, засоление, осолонцевание, заболачивание, а также химическое загрязнение. Согласно ГОСТ 27593-88, деградация почвы – ухудшение свойств и плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов. Современные представления связывают деградацию почв с нарушением их состава, строения и функционирования под влиянием совокупности природных и антропогенных факторов, действие которых превышает устойчивость почв и ведёт к невозможности выполнения их функций, важных для биоты и человека [15].

Почва является наиболее информативным индикатором техногенного воздействия на окружающую среду. Именно в ней аккумулируются загрязняющие вещества, поступающие из атмосферы и с поверхностным стоком, что позволяет рассматривать почвенный покров как депонирующую среду и основу для организации экологического мониторинга. Способность почвы накапливать поллютанты делает ее главным объектом контроля при

оценке долгосрочного экологического неблагополучия территорий, особенно в зонах влияния промышленных предприятий.

1.2 Основные источники и классификация загрязняющих веществ в почвах урбанизированных и промышленных территорий, критерии оценки почв

Урбанизированные и промышленные территории представляют собой зоны наиболее интенсивного антропогенного воздействия на все компоненты окружающей среды, и почвенный покров в них испытывает максимальную техногенную нагрузку.

Устойчивость любой экосистемы определяется устойчивостью почв, которая отражает масштаб техногенного загрязнения. В результате хозяйственной деятельности человека в окружающую среду поступает избыточное, по сравнению с природными уровнями, количество многих элементов, зачастую в соединениях и формах, не характерных для природной обстановки [49].

Почвенный покров городских территорий формируется в условиях больших антропогенных нагрузок, поэтому он значительно отличается от естественного фона. Интенсивное техногенное воздействие и урбанизация способствуют изменению свойств городских почв и направленного распределения элементов по их профилю [33].

По происхождению загрязняющие вещества подразделяются на природные, поступающие в результате естественных процессов (вулканизм, выветривание горных пород) и антропогенные, образующиеся в результате деятельности человека, доминирующие в условиях урбанизированных территорий. Антропогенные источники включают промышленные и транспортные выбросы, утилизацию и хранение бытовых и промышленных отходов, механические загрязнения (крупнообломочный материал в виде

строительного мусора, битого стекла, камня и других отходов), физическое воздействие (например, местное изменение температурного режима почв).

На промышленных территориях источники загрязнения почв связаны с деятельностью промышленных предприятий и сельского хозяйства: выбросы от предприятий черной и цветной металлургии, теплоэнергетики, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, сбросы сточных вод, хвостохранилища, шлаковые отвалы, транспортно-складская инфраструктура (железные дороги, автотранспортные дороги, топливные резервуары, склады) [46].

В зависимости от степени опасности, согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 [13], химические вещества, загрязняющие почвы, подразделяют на три класса – условных показателя, наглядно демонстрирующих уровень токсичности того или иного соединения [30].

Класс опасности устанавливают не менее чем по трём показателям, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели для установления класса опасности химического вещества

Показатель	Класс опасности		
	I	II	III
Токсичность для почвенных организмов, $ЛД_{50}$, мг/кг	< 200	200-1000	> 1000
Персистентность в почве, мес.	> 12	6-12	< 6
Миграция	мигрирует	слабо	не мигрирует
ПДК в почве, мг/кг	<0,2	0,2-0,5	>0,5
Влияние на пищевую ценность сельскохозяйственной продукции	сильное	умеренное	нет

К веществам 1 класса (высокоопасным) относятся мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, цинк, фтор. Во 2 класс (умеренно опасные) входят бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром. Вещества 3 класса (малоопасные) – барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций.

По химическому составу загрязнители почв делят на три группы.

1. Неорганические (минеральные): тяжёлые металлы и их соединения, кислоты, щелочи, соли, вызывающие засоление, подкисление, подщелачивание почв.

2. Органические: полициклические ароматические углеводороды (например, бенз(а)пирен), стойкие органические загрязнители (общее наименование наиболее опасных органических соединений, характеризующихся стойкостью в окружающей среде, переносом на большие расстояния, биоаккумуляцией и токсичностью, например, ДДТ, ряд пестицидов и инсектицидов, полихлорированные полициклические соединения), летучие органические соединения (бензол, толуол, фенолы).

3. Биологические (биогенные): патогенные микроорганизмы, гельминты, токсины микроорганизмов, биологически активные вещества.

По источнику поступления загрязнители почв делят на промышленные и транспортные.

Промышленные источники:

– предприятия черной и цветной металлургии, выбрасывающие в атмосферу частицы пыли и аэрозоли, содержащие тяжелые металлы. Оседая на поверхностях почвы, они формируют устойчивые ореолы загрязнения, мощность которых зависит от направления господствующих ветров и высоты труб производственного объекта;

– объекты теплоэнергетики (ТЭЦ, котельные), сжигание угля и мазута, приводящие к поступлению сажи, диоксида серы, оксидов азота (компонентов кислотных дождей), тяжелых металлов;

– предприятия химической и нефтехимической промышленности, загрязняющие почвы нефтепродуктами, фенолами, хлорорганическими соединениями и другими токсичными органическими веществами;

– предприятия машиностроения – источники поступления тяжелых металлов, масел и эмульсий;

– объекты горнодобывающей промышленности образующие отвалы, хвостохранилища, загрязняющие почву тяжелыми металлами и ядовитыми соединениями, распространяемыми ветром и водой.

Транспортные источники способствуют загрязнению почвы через выбросы в атмосферу выхлопных газов, отложения придорожной пыли, свалки продуктов износа шин. К основным загрязняющим веществам, поступающим в окружающую среду от автомобильного транспорта, относятся оксиды углерода, азота, серы, бенз(а)пирен, сажа, зола, углеводороды, формальдегид. Они оказывают негативное воздействие на здоровье человека, приводят к деградации растительности, почв, водоемов, нарушая биохимические и физиологические процессы и структурную организацию [8].

Промышленные предприятия и сельское хозяйство являются самыми крупными загрязнителями почв. В результате их деятельности в грунты попадают тяжелые металлы и их соли, радиоактивные соединения, продукты нефтепереработки, пестициды, удобрения [30].

При поступлении разнообразных загрязнителей в почвах нарушается протекание естественных химических, биологических и физических процессов, что в дальнейшем приводит к распределению поллютантов по сопряженным компонентам экосистемы (вода, атмосфера, растения, животные и человек).

Основным критерием гигиенической оценки загрязнения почв химическими веществами является предельно допустимая концентрация (ПДК), или ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) химических веществ в почве. Оценка степени опасности загрязнения проводится по каждому веществу с учетом следующих общих закономерностей:

– опасность загрязнения почвы конкретным веществом тем выше, чем больше фактическое превышение его содержания величины ПДК (кратность превышения), рассчитываемая по формуле 1:

$$К_о = \frac{С}{ПДК} \qquad (1),$$

где $К_0$ – кратность превышения;

С – фактическая концентрация вещества в почве, мг/кг;

ПДК – предельно допустимая концентрация вещества в почве, мг/кг;

– опасность загрязнения тем выше, чем выше класс опасности контролируемого вещества, его персистентность, растворимость в воде и подвижность в почве и глубина загрязненного слоя;

– опасность загрязнения тем больше, чем меньше буферная способность почвы, которая зависит от механического состава, содержания органического вещества, кислотности почвы. Чем ниже содержание гумуса, pH почвы и легче механический состав, тем опаснее ее загрязнение химическими веществами [32].

Величины ПДК для загрязнителей почвы установлены нормативами СанПиН. Для установления соответствия фактического содержания загрязнителя величине ПДК используют методы физического, химического и физико-химического анализа. Химический анализ почвы необходим для определения загрязненности почвы, возможности ее использования в разных целях или перевода из одной категории в другую. В качестве заказчика выполнения анализа могут выступать как представители производственных предприятий и сельскохозяйственных комплексов, так и владельцы ферм и дачных участков. При превышении ПДК особо опасных химических веществ потребуются не только меры по очистке загрязненной почвы, но и модернизация систем очистки сточных вод и минимизации воздействия других источников поступления токсинов.

При загрязнении почвы одним веществом неорганической природы оценка степени загрязнения проводится в соответствии с таблицей 2 с учетом класса опасности компонента загрязнения, его ПДК и максимального значения допустимого уровня содержания элемента ($К_{max}$) по одному из четырех показателей вредности.

Таблица 2 – Критерии оценки степени загрязнения почв неорганическим веществом

Содержание в почве	Категория загрязнения почвы		
	1 класс	2 класс	3 класс
> $К_{max}$	Очень сильная	Очень сильная	Сильная
ПДК – $К_{max}$	Очень сильная	Сильная	Средняя
2 фоновых значения – ПДК	Слабая	Слабая	Слабая

При полиэлементном загрязнении оценка степени опасности загрязнения почвы проводится по наиболее токсичному элементу с максимальным содержанием в почве.

Критерии оценки степени загрязнения почвы органическими веществами представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Критерии оценки степени загрязнения почвы органическими веществами

Содержание в почве	Категория загрязнения почвы		
	1 класс	2 класс	3 класс
> 5 ПДК	Очень сильная	Очень сильная	Сильная
2 – 5 ПДК	Очень сильная	Сильная	Средняя
1 – 2 ПДК	Слабая	Слабая	Слабая

Оценка уровня химического загрязнения почв, как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения, проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения.

Коэффициент концентрации химического вещества – отношение фактического содержания определяемого вещества в почве к его региональному фоновому содержанию (формула 2):

$$К_с = \frac{С_i}{С_{ф_i}} \qquad (2),$$

где $К_с$ – коэффициент концентрации вещества;

$С_i$ – фактическое содержание вещества в почве, мг/кг;

$С_{фi}$ – региональное фоновое содержание вещества, мг/кг.

По сумме коэффициентов концентраций веществ – загрязнителей рассчитывается суммарный показатель загрязнения (формула 3):

$$Z_c = \sum_{i=1}^{n} K_{C_i} - (n-1) \qquad (3),$$

где Zc – суммарный показатель загрязнения;

$К_{ci}$ – коэффициент концентрации i-го вещества;

n – количество веществ, имеющих значение $К_с > 1$.

Требования к почвам населенных мест определяются в зависимости от приоритетности компонентов загрязнения в соответствии со списком ПДК (ОДК) химических веществ в почве и их класса опасности, согласно государственному стандарту (таблица 4) [30].

Таблица 4 – Классы опасности химических загрязняющих веществ

Классы опасности	Химическое загрязняющее вещество
1	Мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, цинк, фтор, 3,4-бенз(а)пирен
2	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
3	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон

При оценке загрязнения почв органическими веществами, например, фекальными, используется санитарное число Хлебникова – отношение содержания азота гумуса к содержанию общего органического азота (формула 4):

$$C = \frac{A}{B} \qquad (4),$$

где С – санитарное число Хлебникова;

А – содержание азота гумуса, мг/кг;

В – общее содержание органического азота, мг/кг.

По степени опасности в санитарно-эпидемиологическом отношении почвы населенных мест разделены на категории по уровню загрязнения:

Почвы сельскохозяйственного назначения по степени загрязнения химическими веществами разделены на категории:

– допустимая – содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК;

– умеренно опасная – содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю вредности;

– опасная – содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности;

– чрезвычайно опасная – содержание химических веществ превышает ПДК по всем показателям вредности (таблица 5) [36].

Таблица 5 – Оценка степени химического загрязнения почвы

Категории загрязнения	Санитарное число Хлебникова	(Zc)	Содержание в почве					
			I класс		II класс		III класс	
			Орг.	Неорг.	Орг.	Неорг.	Орг.	Неорг.
Чистая	От 0,98	-	Фон – ПДК					
Допустимая	От 0,98	< 16	1–2 ПДК	2 фон–ПДК	1–2 ПДК	2 фон–ПДК	1–2 ПДК	2 фон–ПДК
Умеренно опасная	0,85–0,98	16–32	-				2–5 ПДК	ПДК–K_{max}
Опасная	0,7–0,85	32–128	2–5 ПДК	ПДК–K_{max}	2–5 ПДК	ПДК–K_{max}	> 5 ПДК	> K_{max}
Чрезвычайно опасная	< 0,7	> 128	> 5 ПДК	> K_{max}	> 5 ПДК	> K_{max}	-	-

1.3 Тяжёлые металлы и органическое вещество почвы

К тяжёлым металлам, согласно одной из классификаций, относятся элементы с атомной массой 50 и более и плотностью ≥ 8 г/см^3 (выше, чем у железа). Таким образом, согласно категории атомной массы, к тяжелым относятся все металлы, начиная с ванадия. С позиции же использования критерия плотности, данная группа представлена такими металлами, как свинец, ртуть, медь, кадмий, кобальт, а, например, такой элемент, как олово, не будет относиться к группе тяжелых металлов. Ряд источников не относит

к тяжелым металлам благородные и редкие, а в некоторых источниках из этой группы исключают железо и марганец.

Независимо от этого, во всех источниках выделяются общие свойства тяжелых металлов, такие как высокая биохимическая активность, высокая кумулятивная и миграционная способность в определенных формах, высокая токсичность и экотоксичность, трудность выведения из организма и окружающей среды.

По данным ВОЗ тяжелые металлы занимают ведущие позиции среди поллютантов, оказывающих негативное воздействие на человека и экосистемы, уступая в этом плане только пестицидам [41].

К наиболее распространенным тяжелым металлам, загрязняющим биосферу, относят никель, титан, цинк, свинец, ванадий, ртуть, кадмий, олово, хром, медь, марганец, молибден, кобальт [19].

Анализ литературы позволяет выделить два наиболее значимых природных источника тяжелых металлов в биосфере и как минимум пять антропогенных. К естественным источникам относится поступление из минеральных пород при почвообразовательном процессе и поступление в атмосферу при извержении вулканов, природных пожарах, выветривании горных пород. К основным антропогенным источникам относятся выбросы автомобильных отработанных газов и жидкостей, промышленные выбросы, средства химизации сельского хозяйства, отходы металлообработки и продукты сгорания ископаемого топлива [20].

В биосферу большая часть тяжелых металлов попадает и распространяется вследствие сжигания природного топлива. Так, от сжигания угля в биосферу попадает Fe, Co, Ti, Mn, Cr и другие [41]. В атмосфере большинство тяжелых металлов встречается в виде твердых частиц, адсорбированных на других частицах, или в виде солей. Из атмосферы они сорбируются на почве или поступают в нее опосредованно через поглощение древесной растительностью [34].

Тяжёлые металлы (за исключением ртути) в основном попадают в атмосферу в составе аэрозолей, значение которых в химическом загрязнении воздуха крайне велико. В осадках, выпадающих на поверхность почвы, могут содержаться свинец, кадмий, мышьяк, ртуть, хром, никель, цинк и другие элементы [4]. Основная масса тяжелых металлов в экосистемах формируется за счет содержания в почвообразующей породе. Также пополнение элементов происходит за счет деятельности человека.

Загрязнение почв вокруг промышленных центров происходит в основном под действием выбросов вредных соединений от промышленных предприятий и транспорта. Широко используются в промышленности и являются активными загрязнителями Cd, Pb, Zn, Hg, Cu [24]. По данным Г.А. Гармаш, более 95 % тяжелых металлов от предприятий черной и цветной металлургии поступает в почву в виде техногенной пыли [4].

Из атмосферы в почву тяжелые металлы попадают чаще всего в форме оксидов, где постепенно растворяются, переходя в гидроксиды, карбонаты или в форму обменных катионов (рисунок 1). Если почва прочно связывает тяжелые металлы (обычно в богатых гумусом тяжелосуглинистых и глинистых почвах), это предохраняет от загрязнения грунтовые и питьевые воды, растительную продукцию. Но при этом, в процессе аккумуляции сама почва постепенно становится все более загрязненной. При деструкции же органического вещества может происходить высвобождение тяжелых металлов в почвенный раствор, что приводит к возрастанию их миграционной способности, а почва снижает степень пригодности для использования в различных хозяйственных целях [27].

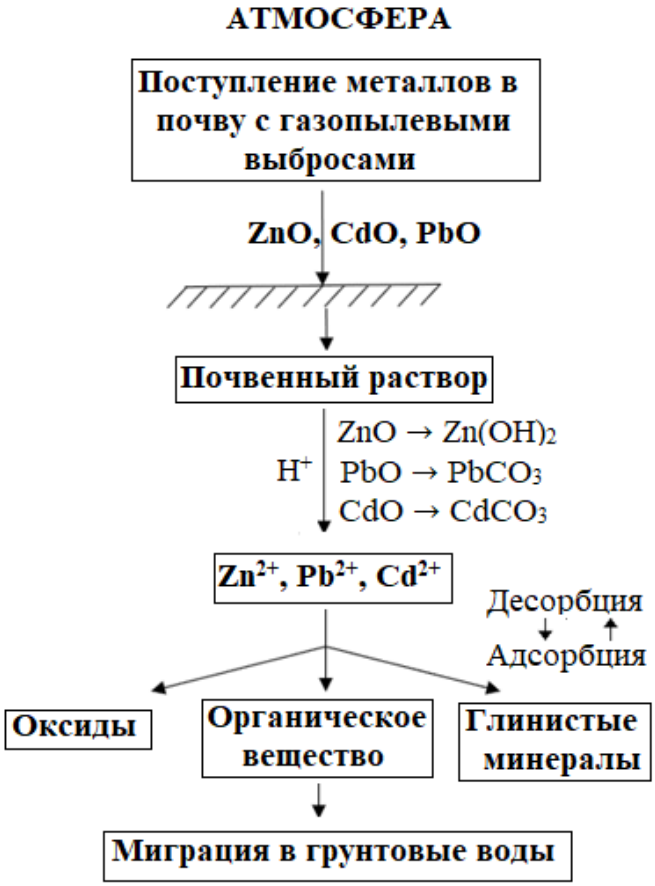


Рисунок 1 –Трансформация и миграция соединений тяжёлых металлов в почвах [27]

Миграционные процессы при участии тяжёлых металлов в почвах связаны с кислотно-основными и окислительно-восстановительными условиями, определяющими разнообразие почвенно-геохимических обстановок. Важную роль играют геохимические почвенные барьеры: в одних случаях они усиливают устойчивость почв к загрязнению тяжёлыми металлами, а в других – ослабляют ее по причине способности к консервации. На каждом из геохимических барьеров задерживается определённая группа химических элементов, обладающая сходными геохимическими свойствами [44].

Тяжёлые металлы оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье человека по трём возможным путям воздействия: ингаляционное, оральное и кожно-резорбтивное. Большинство тяжёлых металлов, обладая очень высокой токсичностью, вызывают негативные последствия и

серьёзные проблемы для здоровья и жизнедеятельности даже при очень низких концентрациях.

Токсичные тяжёлые металлы могут вызывать различные проблемы со здоровьем в зависимости от вида металла и его концентрации. К наиболее опасным тяжёлым металлам с позиции токсичности относятся As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sn и Zn [17]. Поступая в организм, они инициируют процессы повреждения клеточных структур в результате окисления – окислительный стресс [45].

Потребление неорганического мышьяка в течение длительного периода может привести к хроническому отравлению – арсеникозу, в результате чего повреждаются желудочно-кишечный тракт, кожа, сердце, печень. Отравление мышьяком может вызвать развитие диабета, болезни костного мозга и крови, сердечно-сосудистые, онкологические заболевания. Органические соединения мышьяка менее вредны для здоровья по причине достаточно быстрого выведения из организма.

Крайне опасно для организма избыточное поступление меди, которое может быть вызвано вдыханием паров и пыли медных соединений в производственных условиях, случайными бытовыми отравлениями растворами соединений меди, употреблением медной посуды. Основными источниками поступления меди в окружающую среду являются сжигание топлива (22 %), производство чугуна, стали, ферросплавов (11 %). Медь может попадать в окружающую среду в процессе коррозии медных трубопроводов и других конструкций, используемых в водоснабжении [39]. Отравление медью вызывает повреждение головного мозга и почек, цирроз печени, хроническую анемию, желудочное и кишечное раздражение.

Цинк наименее токсичен из всех вышеперечисленных тяжёлых металлов. Его физиологическое воздействие заключается в активации ферментативной активности. В больших количествах (около 150 мг для взрослого человека) он вызывает рвоту. Минимальная летальная доза для

теплокровных животных зависит от формы поступления цинка, например, для хлорида – 100 мг/кг, а для сульфата – 750 мг/кг массы тела [47].

Поступление тяжёлых металлов в организм происходит, как правило, по схеме: почва – растение – животное – человек. Их распределение по поверхности почвенного покрова определяется факторами, зависящими от особенностей источников загрязнения, метеорологических условий, геохимических факторов. Элементы, загрязняющие почву, накапливаются в основном в верхнем слое на глубине до 10 см. Достаточно легко поступая из почвы в растения по трофической цепи, тяжелые металлы накапливаются в растительных и животных организмах.

Часть техногенных выбросов тяжелых металлов, поступающих в атмосферу в виде аэрозолей, переносится на значительное расстояние и вызывает глобальное загрязнение. Другая часть с гидрохимическим стоком попадает в бессточные водоемы, где накапливается в водах и донных отложениях, выступая в качестве возможного источника вторичного загрязнения водной массы. Соединения тяжелых металлов сравнительно быстро распределяются по экосистеме водного объекта. Большая часть из них выпадает в осадок в виде карбонатов, фосфатов и сульфатов, достаточно большое количество адсорбируется на минеральных и органических осадках [38].

В процессе почвообразования возникает симбиоз растений и почвенных условий, в более узком смысле – растений и органического вещества – почвенного гумуса. Органическое вещество и процессы его трансформации играют основную роль в почвообразовании, фактически формируя плодородие. В почву поступают органические остатки отмерших растений, продукты их микробиологической трансформации, останки животных [25].

Органическое вещество почвы представлено несколькими группами, формирующими единую взаимосвязанную систему:

1) органические остатки – остатки отмерших, прежде всего, растительных организмов, не потерявшие черты анатомического строения. На их долю приходится 5–19 % от общего содержания органических соединений в почве;

2) неспецифические органические соединения – вещества не почвенного происхождения, имеющие фито-, зоо- и микробоценотическую природу, поступающие в процессе почвообразования в виде отмирающей биомассы и продуктов жизнедеятельности организмов. Они синтезируются живыми организмами и поступают в почву после их отмирания;

3) специфические органические соединения почвенного гумуса – основная часть органических соединений, большая группа специфичных полимерных соединений почвы. Содержание гумуса в почве колеблется от 1 до 10 % [3].

Почвенный гумус представляет собой смесь различных по составу и свойствам высокомолекулярных соединений, объединенных общностью происхождения, некоторыми свойствами и особенностями строения. Это продукт длительной трансформации органических остатков, обеспечивающий почвенное плодородие. Впервые гумус был выделен из торфа и описан немецким химиком Ф. Ахардом в 1786 г.

Гумус содержит основные запасы питательных элементов для растений и микроорганизмов, в его состав входят три основные группы: гуминовые кислоты, фульвокислоты (их объединяют под общим названием «гумусовые кислоты») и гумин. Структура гумусовых кислот представлена ароматическими фрагментами (до 30 %), связанными друг с другом кислородными и углеродными мостиками. Также в структуре выделяются углеводные фрагменты (20–30 %) и амионокислотные остатки (5-10 %). Ароматические фрагменты гумуса модифицированы функциональными группами кислотной природы: карбоксильными, гидроксильными (рисунок 2). Наличие этих групп обуславливает кислотный характер почвенного

гумуса и его способность связывать тяжелые металлы за счет процессов солеобразования и комплексообразования.

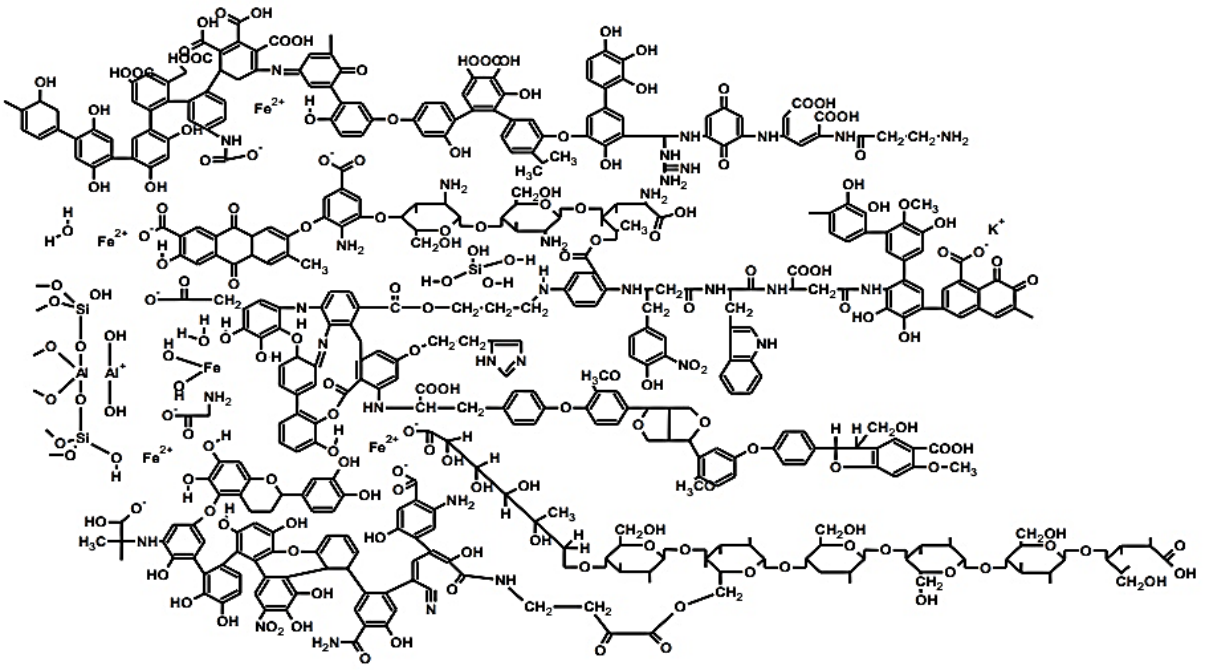


Рисунок 2 –Гипотетическая структура гумусовых кислот

Гумус выступает в качестве источника углерода и энергии, основного источника азота для почвенных микроорганизмов, способствует формированию оптимальных водного, воздушного, теплового режимов, обеспечивает устойчивость почв к поллютантов [25].

Почвенный гумус принимает активное участие в регуляции миграционных процессов с участием тяжёлых металлов. Так, гуминовые кислоты достаточно прочно связывают представителей этой группы поллютантов, снижая их миграционную способность и способствуя накоплению в верхних почвенных горизонтах. В результате снижается поступление токсикантов в растительную систему, в связи с чем внесение в почву органического вещества рассматривается в качестве эффективного приема, используемого для продолжения сельскохозяйственных работ на территориях, подверженных техногенному воздействию, сопровождающемуся загрязнением почв тяжёлыми металлами. В то же

время, разложение гумуса со временем приводит к высвобождению поллютантов и повышению их миграционной подвижности, что требует проведения мониторинговых исследований по контролю за обеспеченностью почвенной системы гумусом.

Фульвокислоты, в свою очередь, образуют с тяжелыми металлами миграционно подвижные коллоидные комплексы, что может при промывном режиме приводить к выносу поллютантов в нижние почвенные горизонты, но при выпотном режиме – к усилению их поступления в растительную систему. Таким образом, при проведении защитных мероприятий на техногенно загрязненных тяжелыми металлами почвах внимание нужно уделять не только количественным, но и качественным характеристикам вносимого гумуса, а также водному режиму почв.

Аккумулятивная функция гумуса заключается в накоплении элементов питания и энергии для биоты. В гумусе сосредоточено 90–99 % всего азота, больше половины фосфора и серы, кальций, магний, железо и практически все необходимые микроорганизмам микроэлементы. Для азота связывание в органическое соединение – единственный путь предотвращения его потерь из почвенного профиля за счет растворения и выноса в грунтовые воды. При разложении гумуса органические соединения азота минерализуются, превращаясь в доступные для растений формы − аммоний (NH_4^+) и нитраты (NO_3^-).

Минеральные формы азота (NH_4^+, $-NH_2$, NO_3^-, NO_2^-). Нитратная, аммонийная и амидная формы служат источником азотного питания растений. Из всех поступивших в растения форм соединений азота только один аммиак может быть непосредственно использован для биосинтеза аминокислот. Нитраты и нитриты могут вовлекаться в синтез аминокислот только после их восстановления в тканях растений.

Нитратный азот может накапливаться в растениях в значительных количествах, не причиняя им вреда. В то же время при обильных поливах

они легко вымываются из пахотного слоя в нижележащие горизонты почвы, что приводит к загрязнению окружающей среды и неэффективному использованию удобрений.

Аммонийный азот, в отличие от нитратов, содержит аммиак в ионной форме, доступной растениям. В значительных количествах он не может накапливаться в тканях растений без нанесения им вреда. Его накопление, особенно при недостатке углеводов (источника кетокислот), ведет к аммиачному отравлению растений. Поэтому аммонийные или аммиачные удобрения нельзя вносить в почвы большими дозами перед посевом, особенно под культуры, семена которых бедны углеводами. Также не рекомендуется вносить их в поверхностный слой почвы, так как азот в данных формах может необменно закрепляться при пересыхании почвенного слоя.

Амидная форма, вносимая в почву в виде мочевины, малодоступна растениям. Её поступление через корневое питание происходит только после превращения в аммонийную или нитратную форму, в процессе аммонификации и нитрификации. В то же время, амидный азот является хорошим источником азотного питания через листовую пластину [6].

В почве содержится лишь минимальная часть литосферного азота в нитратной и аммонийной формах, и только от 0,5 до 2 % этой группы доступна растениям. Нитраты подвижны, плохо фиксируется в почве и легко вымываются поверхностными водами в низлежащие почвенные горизонты и в грунтовые воды. В итоге значительная часть нитратного азота выносится из почв с поверхностным и подземным стоком. Содержание нитратов в почве повышается весной, когда создаются благоприятные условия для деятельности нитрифицирующих бактерий. Катионы аммония менее подвижны, хорошо адсорбируются отрицательно заряженными частицами, меньше вымываются осадками. В связи с этим, оптимальным

при внесении в почву является сочетание этих двух форм азота в виде аммонийной селитры.

Содержание в почвах фосфора обычно достаточно высоко, но его доступные формы составляют от валового содержания лишь 10–20%. Наиболее распространенная форма этого элемента – фосфатная, представлена нерастворимыми соединениями, которые закрепляются в почве и мало доступны для питания растений. В кислых почвах активно образуются устойчивые и не растворимые в воде фосфаты железа и алюминия, а в щелочных − фосфаты кальция и магния. Количество же водорастворимых форм фосфора (дигидро- ($H_2PO_4^-$) и гидро- (HPO_4^{2-}) фосфаты) в пахотном слое почв всегда крайне незначительно, и составляет 0,1–1,0 мг/кг. В связи с этим существует необходимость внесения в почву фосфорных удобрений в виде кислых солей, например, суперфосфат или преципитат, а также контроль за содержанием подвижных форм фосфора в почве. Основные формы нахождения фосфора в почве представлены в таблице 6 [6].

Таблица 6 – Формы фосфора в почве

Формы	Доступные			Условно доступные	Недоступные
	Растворимые в воде	Растворимые в кислотах			
		Кислые почвы	Щелочные почвы		
Соединения	Na_3PO_4, K_3PO_4, Na_2HPO_4, K_2HPO_4, NaH_2PO_4, KH_2PO_4, $Ca(H_2PO_4)_2$, $Mg(H_2PO_4)_2$	$AlPO_4$, $Al_2(OH)_3PO_4$, $FePO_4$, $Fe_2(OH)_3PO_4$	$CaHPO_4$, $MgHPO_4$	$Ca_5(PO_4)_3F$, $Ca_5(PO_4)_3OH$	фитин, фосфатиды, фосфор гумуса

Взаимосвязь тяжелых металлов с почвой определяется комплексом физико-химических процессов, ключевыми из которых являются сорбция, осаждение, комплексообразование и ионный обмен. Особенности миграции тяжёлых металлов в почве зависят от:

– кислотно-основных условий (pH): в кислых условиях подвижность большинства тяжёлых металлов повышается, а по мере нейтрализации среды она понижается;

– окислительно-восстановительного потенциала (Eh): большинство тяжёлых металлов подвижны в окислительной среде и слабо мигрируют в восстановительных условиях;

– гранулометрического состава: чем тяжелее почвы, тем выше их сорбционная емкость и тем ниже миграционная способность тяжёлых металлов;

– содержания органического вещества: в зависимости от фракционного состава почвенного гумуса миграционная способность тяжёлых металлов может как повышаться (при большом содержании фульвокислот), так и падать (при высоком содержании гуминовых кислот).

При загрязнении почв тяжёлыми металлами ухудшается их фосфатный режим в связи с образованием труднорастворимых фосфатов, а также азотный режим вследствие ингибирования ферментативной активности микроорганизмов. При этом затормаживается процесс гумусонакопления, что связано с меньшим поступлением в почву растительных остатков и ингибированием микробиологической активности. Для понижения миграционной способности тяжёлых металлов в почву необходимо дополнительно вносить карбонаты, образующие с ними нерастворимые соли, конкурируя с фосфатами [37].

В естественных условиях большинство тяжёлых металлов прочно фиксируются в гумусовом горизонте, однако миграция резко активизируется при снижении pH, увеличении содержания растворимого органического вещества и, что особенно важно, при изменении ионного состава почвенного раствора под влиянием удобрений [48].

Фосфаты оказывают на миграцию тяжёлых металлов преимущественно иммобилизирующее действие. Основной механизм,

определяющий миграцию тяжёлых металлов в присутствии фосфатов, заключается в образовании малорастворимых фосфатов металлов. Катионы свинца, кадмия, меди, цинка и никеля, взаимодействуя с ортофосфат-ионами, образуют осадки. Высокая концентрация фосфатов подавляет миграция тяжёлых металлов, переводя их в малоподвижные формы [4].

Нитраты выступают в качестве высокомобильных анионов, практически не сорбирующихся почвенным поглощающим комплексом. Основной механизм их влияния на миграцию тяжёлых металлов связан с повышением ионной силы почвенного раствора и изменением электростатических взаимодействий в двойном электрическом слое коллоидных частиц. При внесении нитратных удобрений, например, калийной или кальциевой селитры, происходит замещение катионов тяжёлых металлов в диффузном слое на ионы K^+ или Ca^{2+}, сопровождающееся вытеснением металлов в раствор.

Нитриты являются одновременно и комплексообразователями, и окислительно-восстановительными модификаторами. Нитрит-ион способен образовывать с катионами тяжёлых металлов растворимые нитритные комплексы, устойчивость которых часто превосходит устойчивость нитратных аналогов. Например, для свинца известно образование катионного комплекса $[Pb(NO_2)]^+$, для кадмия – анионного $[Cd(NO_2)_3]^-$, для цинка – анионного $[Zn(NO_2)_4]^{2-}$. Комплексообразование резко повышает растворимость металлов даже в условиях, где их свободные ионы склонны к гидролизу или осаждению.

Выводы по первой главе

Тяжёлые металлы выступают в качестве приоритетных загрязнителей на территориях, подвергшихся техногенному воздействию. Загрязнение данными поллютантами происходит под действием выбросов вредных веществ от промышленных предприятий и транспорта.

Как поллютанты, тяжёлые металлы характеризуются высокой биохимической активностью, кумулятивной и миграционной способностью в зависимости от форм нахождения и условий почвенной среды, высокой токсичностью и экотоксичностью, трудностью выведения из организма и окружающей среды.

Миграционная способность тяжёлых металлов в почвенной среде, а также в системе «почва – растение» зависит от кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий среды, обогащения почвы органическим веществом и его фракционным составом, содержанием и формами нахождения соединений азота и фосфора.

В связи с этим, при определении степени загрязненности почвенного компонента, подверженного техногенному воздействию, тяжёлыми металлами необходимо проведение мониторинговых исследований как количественного содержания тяжёлых металлов, так и компонентов почвенной системы, регулирующих миграционную способность поллютантов.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Описание территории исследования, отбора и пробоподготовки для почвенного анализа

Исследование почв проводилось на территории посёлка Первомайский Коркинского муниципального района. На территории поселка функционируют предприятия силикатной промышленности, такие как завод по производству цемента SLK Cement, комбинат асбоцементных изделий, ООО «Асборемонт», ООО «Ацеид». Посёлок расположен в непосредственной близости от Коркинского угольного разреза, Березняковской золотодобывающей компании, Томинского горно-обогатительного комбината. Кроме того, посёлок находится в относительной близости (44 км) от г. Челябинска, а преобладающее направление ветра – юго-западное (рисунок 3), свидетельствует о возможности влияния на экологическое состояние поселка Челябинского промышленного узла, включающего предприятия черной и цветной металлургии, теплоэнергетики, машиностроения.

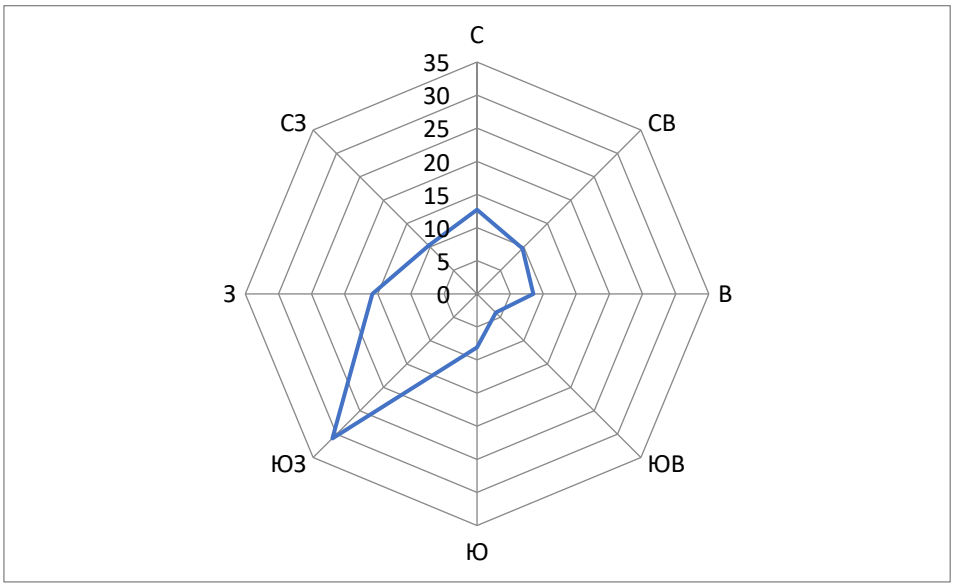


Рисунок 3 – Роза ветров посёлка Первомайского [5]

Рельеф посёлка Первомайский характеризуется переходом полуравнины (Зауральский пенеплен) в равнину (Западно-Сибирская равнина). Ближайшие к посёлку высоты – 277, 315 и 288 метров (рисунок 4). Перепад высот в пределах поселка составляет 8–10 метров на расстоянии нескольких километров, уклон местности составляет 0,13–0,17 % (менее 0,1°). На каждый километр горизонтального расстояния высота меняется на 1,3–1,7 метра, а образующийся уклон играет роль в формировании гидрологического режима территории, где преобладает вертикальная миграция веществ и замедленный поверхностный сток.



Рисунок 4 - Фрагмент топографической карты п. Первомайский [48]

Многолетнее функционирование производственных объектов сопровождается поступлением в окружающую среду широкого спектра загрязняющих веществ, среди которых особую опасность представляют тяжёлые металлы (медь, кобальт, железо, цинк), способные накапливаться в почве и включаться в трофические цепи. В целом же, экологическая ситуация на территории посёлка Первомайский на сегодняшний день оценивается как напряженная.

Экологическое состояние посёлка Первомайский представляет собой пример нестабильной ситуации, сформированной комбинированным влиянием двух горнодобывающих комплексов и усугублённой локальными факторами. Это состояние характеризуется устойчивым многокомпонентным загрязнением всех сред, высокой пространственной неоднородностью и прямыми рисками для здоровья населения.

В числе наиболее значимых техногенных объектов, оказывающих потенциальное воздействие на аккумуляцию тяжёлых металлов в почвах Коркинского муниципального округа и прилегающих территорий, рассматривается Томинский горно-обогатительный комбинат, расположенный в 5 км от поселка (рисунок 5) и специализирующийся на добыче и переработке медно-порфировых руд. Это активный и стратегически значимый фактор воздействия на экосистему поселка [43].



Рисунок 5 – Фрагмент космического снимка территории АО «Томинский ГОК» [22]

Основным механизмом поступления тяжелых металлов в почву на этапе горных работ является аэрогенный перенос пылевых частиц. Интенсивное пылеобразование при экскавации и транспортировке руды и вскрышных пород большегрузным автотранспортом по внутрикарьерным дорогам приводит к существенному поступлению пыли в атмосферу. Поднимаемая в атмосферу пылевая фракция содержит широкий спектр

элементов – примесей медной минерализации, содержащих, в том числе ванадий, свинец, цинк. Ветровой разнос обеспечивает дальнейший вынос тонкодисперсных частиц на большие расстояния от источника эмиссии, вызывая загрязнение верхнего горизонта почв преимущественно в секторе преобладающих ветров.

Наиболее критичным для геохимического состояния почвенного покрова является этап обогащения руды, который приводит к образованию значительных объемов отходов – «хвостов флотации». По данным технологических регламентов, в их составе присутствуют оксиды меди, цинка, свинца, марганца и ванадия, а также остаточные сульфиды серы, способные формировать кислые дренажные воды.

Березняковский горно-обогатительный комбинат расположен в 7 км к юго-востоку от поселка Первомайский (рисунок 6).



Рисунок 6 – Фрагмент космического снимка территории ЗАО «Березняковский» ГОК [22]

Это золотодобывающее предприятие, расположенное в Еткульском районе Челябинской области, входящее в структуру ПАО «Южуралзолото Группа Компаний» (ЮГК). Основной вид его деятельности – добыча руд и песка драгоценных металлов (золото, серебро, элементы группы платины). К основным загрязнителям, характерным для данной отрасли, относятся

взвешенные вещества (пыль) содержащие частицы руды и породы, богатые тяжёлыми металлами, сопутствующими драгоценным (медь, цинк, свинец, кадмий, ртуть). Также к основным загрязнителям этой отрасли относится диоксид серы, образующийся при взрывных работах и обжиге руды и способствующий формированию кислой среды.

Воздействие горно-обогатительного комбината на почвенный покров определяется составом перерабатываемого сырья и характером образующихся отходов. В технологическом процессе присутствуют медь, свинец, цинк. Поступление данных элементов в почву происходит в результате производственной деятельности и фильтрации техногенных вод.

Коркинский угольный разрез расположен в западном направлении от поселка (рисунок 7).



Рисунок 7 – Фрагмент космического снимка территории Коркинского угольного разреза [2]

Этот промышленный объект выступает как исторический, доминирующий фактор, оказывающий значимое и многофакторное воздействие [22]. Его деятельность определяет фоновое техногенное загрязнение через ветровой перенос угольно-сульфидной пыли. Основным механизмом поступления тяжёлых металлов в данном случае является

аэрогенный перенос пылевых частиц, образующихся при ведении горных работ, пылении отвалов вскрышных пород. Механизм воздействия включает прямое аэрогенное осаждение пылевых частиц, содержащих соединения хрома, свинца, цинка, меди, никеля и других элементов, выбросы летучих форм металлов в процессе эндогенных пожаров, а также косвенное загрязнение через гидрологическую сеть при миграции загрязнённых поверхностных и подземных вод.

С целью определения степени загрязнения почв на территории посёлка Первомайский проведен отбор проб в шести точках. Карта-схема отбора проб представлена на рисунке 8.

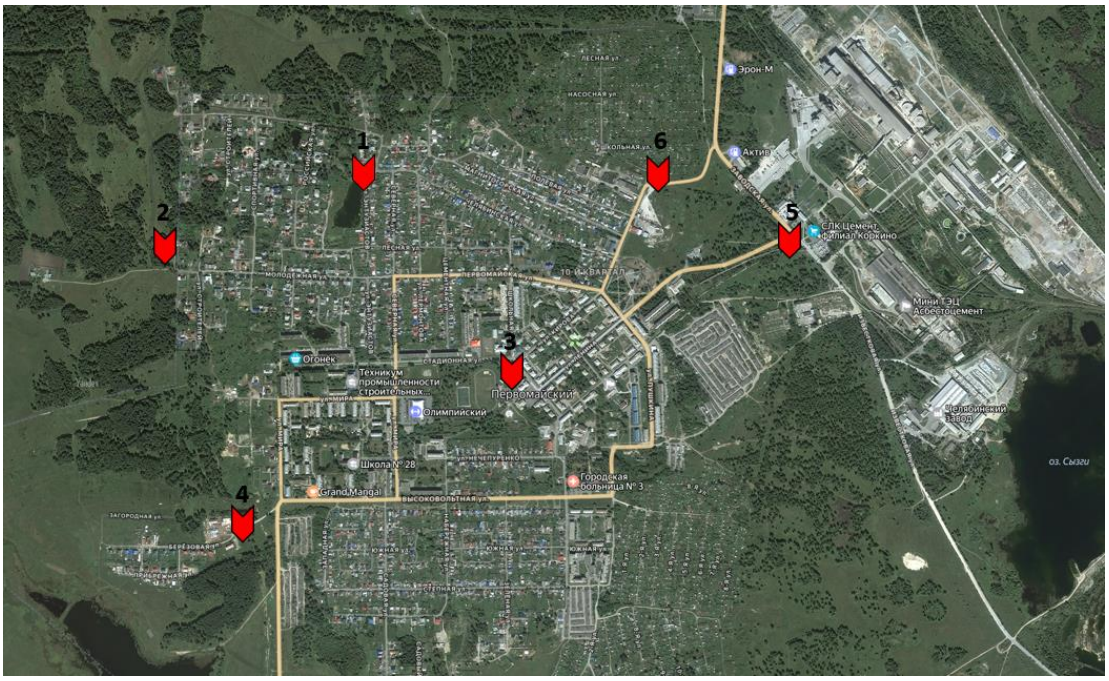


Рисунок 8 – Карта-схема отбора проб почвы [1]

Точка 1 – пересечение улиц Энтузиастов и Челябинской, вблизи озера Ходыкино, и точка 2 – улица Молодежная, расположены на окраине посёлка на территории, наименее подверженной техногенному воздействию, расположенной в отдаленности от промышленных предприятий и крупных автотранспортных дорог.

Выбор точки 3 (Центральная площадь на улице Победы) обусловлен тем, что, она является центром посёлка и относится к числу благоприятной территории для проживания.

Точка 4 – улица Берёзовая, расположена на окраине посёлка с юго-западной стороны в непосредственной близости от предприятия ГОК «Березняковский».

Точка 5 на улице Заводской расположена вблизи предприятия ООО «СЛК Цемент», а точка 6 – вблизи СНТ «Цементник – 1».

Отбор проб почвы проводился в середине октября 2025 года при отсутствии дождливой погоды и средней степени увлажнения почв. Точечные пробы отбирались на выбранных площадках по методу конверта. Отбор проводился из нескольких почвенных слоёв до глубины 20– 25 см. Количество точечных проб составляло 6 проб, что соответствует ГОСТ 17.4.3.01-83 [14]. Для контроля загрязнения поверхностно распределяющимися поллютантами – тяжёлыми металлами – точечные пробы отбирались послойно с глубины 0–5 и 5–20 см массой около 200 г. каждая. Точечные пробы отбирались пластиковым шпателем из прикопок, стенки которых были предварительно зачищены им для предотвращения постороннего попадания металла. Объединённую пробу составляли путём смешивания точечных проб, отобранных на одной пробной площадке. Для химического анализа объединённую пробу составляли не менее, чем из пяти точечных проб, взятых с одной пробной площадки. Масса объединённой пробы составляла 1 кг. Отобранные пробы упаковывались в пластиковый пакет и плотно закрывались для исключения возможности постороннего загрязнения почв.

Пробы почвы для химического анализа высушивали до воздушно-сухого состояния по ГОСТ 5180-75 [16]. Воздушно-сухие пробы хранили в стеклянной таре. При подготовке пробы в лабораторных условиях растирали фарфоровым пестиком и рассыпали на бумаге. Из пробы

удалялись включения – корни растений, насекомых, камни, стекло. Почву растирали в ступке пестиком и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Для обеспечения полноты извлечения тяжелых металлов пробы почв предварительно подвергались кислотному озолению с целью разложения органического вещества. Для этого их нагревали с концентрированной азотной кислотой, а затем нагревали в муфельной печи при температуре 600–650^{0}С. Из полученной золы готовили вытяжку, используя в качестве экстрагента соляную кислоту с концентрацией 0,1Н (приложение 1).

2.2 Использование фотометрического метода анализа для определения химико-экологических показателей почв

Для выполнения количественного определения содержания тяжелых металлов в исследуемых почвах использовался фотометрический метод анализа в варианте градуировочного графика. Содержание вещества в данном случае устанавливается по интенсивности окраски, определяющей величину светопоглощения растворов веществ.

Фотометрический метод анализа основан на установлении интенсивности светового потока, прошедшего через вещество, его раствор, пропущенного или отражённого суспензией вещества. К собственно фотометрическим методам, относят методы, основанные на использовании ультрафиолетовой (10–400 нм), видимой (400–800 нм) или инфракрасной (800–1000 нм) областей спектра [10].

Окрашенные растворы характеризуются различными значениями светопропускания или светопоглощения потока различных длин волн. В видимой области цвет раствора обусловлен длиной волны излучения, не поглощенного этим раствором. Например, раствор, поглощающий излучение в синей части спектра (> 475 нм), окрашен в желтый цвет, т. е. синий цвет является дополнительным к окраске раствора. Если же раствор

вещества не окрашен, то проводят химическую (фотометрическую) реакцию, переводя определяемый компонент в окрашенную форму, обеспечивающую возможность фотометрического определения.

Суть фотометрического анализа заключается в определении уменьшения интенсивности потока монохроматического света после прохождения его через слой окрашенного раствора определенной толщины и концентрации растворенного вещества. При этом интенсивность светопоглощения прямо пропорциональна толщине оптического слоя и концентрации раствора, что определяется двумя законами:

– закон Бугера: интенсивность светопоглощения прямо пропорциональна толщине слоя, через который проходит световой поток (толщина оптического слоя) [45];

– закон Ламберта – Бера: интенсивность светопоглощения прямо пропорциональна концентрации светопоглощающего вещества в растворе.

Объединением двух законов является уравнение Бугера – Ламберта – Бера (формула 5):

$$D = \varepsilon \times l \times c \quad (5),$$

где D – оптическая плотность раствора, нм;

ε – молярный коэффициент светопоглощения исследуемого раствора;

l – толщина оптического слоя, см;

C – концентрация светопоглощающего вещества в растворе, мг/мл.

Основными требованиями к фотометрическим реакциям являются избирательное действие реагента, высокая скорость реакции, большое значение константы равновесия, постоянство состава и устойчивость окрашенных продуктов (аналитической формы). При проведении анализа выполняется ряд операций:

– перевод анализируемого компонента в раствор;

– отделение, в случае необходимости, мешающих компонентов, или устранение их мешающего влияния с помощью специальных приемов;

– выбор фотометрической формы вещества и проведение химических реакций для получения окрашенного соединения (если определяемое вещество не обладает интенсивным собственным поглощением);

– установление области концентраций, в которой выполняется основной закон светопоглощения;

– измерение оптической плотности окрашенных растворов определяемого компонента с его известной концентрацией и исследуемого раствора;

– построение градуировочного графика зависимости оптической плотности раствора от концентрации определяемого компонента;

– расчет по градуировочному графику содержания вещества в анализируемой пробе и его метрологическая оценка.

Одной из основных задач в фотометрическом методе является построение градуировочного графика на основе результатов определения светопоглощения стандартных рабочих растворов вещества с заданной концентрацией определяемого компонента. По полученным данным строится график зависимости оптической плотности раствора от концентрации определяемого элемента.

В соответствии с уравнением светопоглощения градуировочный график зависимости оптической плотности от концентрации должен быть линейным, что обеспечивается постоянством условий (длина волны и толщина оптического слоя). Для построения калибровочного графика готовят серию стандартных растворов, охватывающих определенный диапазон измеряемых концентраций исследуемого вещества [10].

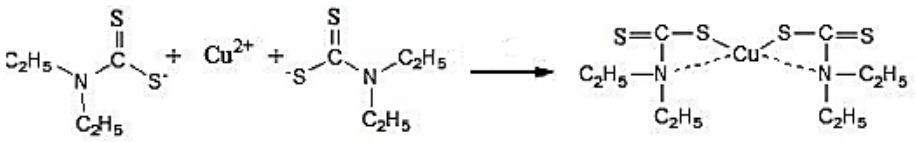
Количественное определение железа (приложение 2) проводилось фотометрическим методом в форме Fe^{3+} в виде роданидного комплекса. Перевод соединений железа в окрашенную форму проводился в кислой среде (подкисление азотной кислотой) в реакции с роданидом калия,

приводящей к образованию форм железа, окрашенных в интенсивно-красный цвет по уравнению (1):

$$Fe^{3+}+3SCN^{-}\rightarrow Fe(SCN)_3 \qquad (1).$$

Содержание железа (III) определяли по градуировочному графику (приложение 2, рисунок 12).

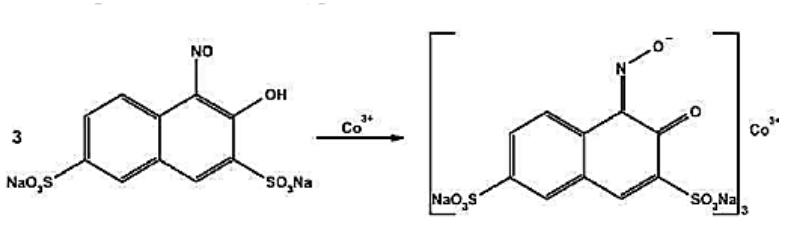
Определение меди (приложение 3) проводили диэтилдитиокарбаматным методом по образованию раствора диэтилдитиокарбамата меди жёлтого цвета. Реакция получения окрашенного комплекса протекает по уравнению (2):



(2).

Содержание меди определяли по градуировочному графику (приложение 3, рисунок 13).

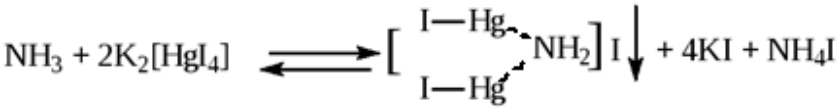
Количественное определение кобальта (приложение 4) проводили на основе образования комплексного соединения красного цвета в реакции с нитрозо-R-солью (динатриевая соль 1-нитрозо-2-нафтол-3,6-дисульфокислоты), описываемой уравнением (3):



(3).

Содержание кобальта определяли по градуировочному графику (приложение 4, рисунок 14).

Количественное определение содержания аммиака и ионов аммония в (приложение 5) проводили по реакции с реактивом Несслера, описываемой по уравнению (4) и приводящей к образованию желтого комплекса меркураммония:



(4).

Содержание ионов аммония находили по калибровочному графику (приложение 5, рисунок 15).

Количественное определение доступных форм фосфора (приложение 6) выполняли переводом фосфатов в форму фосфомолибденовой сини в реакции с молибдатом аммония, протекающей в присутствии восстановителя – хлорида олова (II) по уравнениям (5):

$$H_3PO_4 + 2(NH_4)_2MoO_4 + 21HNO_3 \rightarrow (NH_4)_3(PO_4 \cdot 12MoO_3) + 21NH_4NO_3 + 12H_2O \quad (5).$$

Содержание ортофосфатов находили по градуировочному графику (приложение 6, рисунок 16).

Количественное определение нитратного азота (приложение 7) проводили по реакции восстановления нитратной формы до нитритной с помощью гидразина с последующим переводом в окрашенную форму азосоединения по реакции с сульфаниламидом и нафтиламином. Для обеспечения полноты извлечения определяемого компонента в качестве экстрагента использовали раствор хлорида калия. Содержание нитратного азота находили по градуировочному графику (приложение 7, рисунок 17).

2.3 Использование титриметрического метода анализа для определения химико-экологических показателей почв

Титриметрия – метод количественного анализа, основанный на точном измерении объема раствора реагента с точно известной концентрацией, который израсходован на реакцию с определяемым веществом – аналитом до появления аналитического сигнала [32].

Основной операцией метода является титрование – постепенное прибавление раствора титранта к титруемому раствору. Момент окончания реакции фиксируют визуально по появлению аналитического сигнала (изменение, появление или исчезновение окраски). Если реакция не сопровождается изменением окраски, в систему вводят вещества – индикаторы, обеспечивающие это изменение.

В основе расчетов при выполнении титриметрического анализа лежит закон эквивалентов, описываемый формулой 6:

$$V_1 \times H_1 = V_2 \times H_2 \qquad (6),$$

где V_1 – объем раствора определяемого компонента, используемый для анализа, $см^3$;

H_1 – молярно-эквивалентная (нормальная) концентрация исследуемого веществ в растворе, моль/$дм^3$;

V_2 – объем раствора известной концентрации, затраченный на титрование до появления аналитического сигнала, $см^3$;

H_1 – молярно-эквивалентная (нормальная) концентрация вещества в растворе известной концентрации, моль/$дм^3$;

Раствор с точно известной концентрацией называют титрованным, стандартным или рабочим раствором. Раствор определяемого вещества называется титруемым. Вещество, при помощи которого устанавливают точность концентрации титрованного раствора, называют установочным.

Зная концентрацию и объем стандартного раствора, израсходованного на реакцию с анализируемым раствором, можно вычислить содержание определяемого вещества в исследуемом растворе.

Общая схема титриметрического анализа включает этапы:

– взятие и растворение навески;

– приготовление раствора титранта и установление его точной концентрации (стандартизация);

– создание условий для протекания реакции (температура, ионная сила, концентрация реагирующих веществ, наличие катализатора и др.);

– титрование в трехкратной повторности и установление среднего объема титранта, затраченного на проведение реакции;

– расчет результатов анализа по закону эквивалентов с требуемой точностью.

В зависимости от типа химической реакции, которая протекает при титровании, титриметрические методы классифицируют:

– кислотно-основное титрование (нейтрализация). Метод основан на использовании реакций кислотно-основного взаимодействия, в качестве титрантов применяются растворы сильных кислот и сильных оснований, реакции проводят в присутствии кислотно-основных индикаторов;

– окислительно-восстановительное титрование. Метод основан на использовании окислительно-восстановительных реакций, в качестве титрантов применяются растворы окислителей и восстановителей. Процесс может сопровождаться изменением окраски системы в ходе реакции между окислителем и восстановителем. Если же ее не происходит, в систему вводятся окислительно-восстановительные индикаторы;

– комплексометрическое титрование. Метод основан на использовании реакций комплексообразования, в качестве титрантов применяются растворы металлов-комплексообразователей или лигандов. Реакции проводят в присутствии комплексонометрических индикаторов;

– осадительное титрование. Метод основан на использовании реакций осаждения, в качестве титрантов применяются растворы, содержащие катионы или анионы – осадители [9].

Для определения количественного содержания почвенного гумуса использовалось окислительно-восстановительное титрование по методу И.В. Тюрина в модификации В.И. Симакова (приложение 8). Метод основан на окислении углерода почвенного гумусу избытком дихромата калия в

кислой среде с последующим определением остаточного дихромата с помощью раствора восстановителя – соли Мора [12]. Аналитическим сигналом в данном случае является переход окраски от красно-фиолетовой в зелёную. В основе метода лежат реакции, описываемые уравнениями (7, 8):

$$2K_2Cr_2O_7 + 3[C] + 8H_2SO_4 \rightarrow 3CO_2 + 2Cr_2(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 8H_2O \quad (7)$$

$$2K_2Cr_2O_7 + 6FeSO_4 + 7H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3Fe(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O \quad (8).$$

Анализ содержания цинка производился в почвенной вытяжке при помощи комплексонометрического титрования раствором комплексона III (трилона Б) в присутствии хромогена чёрного (приложение 9). В интервале pH = 9–10 индикатор находится в растворе в виде формы $HInd^{2-}$ и имеет синюю окраску, а его комплекс с ионом цинка в тех же условиях окрашен в красно-фиолетовый цвет (уравнение 9):

$$Zn^{2+} + HInd^{2-} = ZnInd^{-} + H^{+} \quad (9).$$

При титровании с хромогеном чёрным раствором ЭДТА вблизи точки эквивалентности комплексы $ZnInd^{-}$ разрушаются, образуются более прочные комплексные соединения цинка с трилоном Б, а высвободившийся индикатор $HInd^{2-}$ окрашивает раствор в синий цвет (уравнение 10):

$$ZnInd^{-} + H_2Y^{2-} = ZnY^{2-} + HInd^{2-} + H^{+} \quad (10).$$

Выводы по второй главе.

Территория посёлка Первомайский подвержена интенсивной техногенной нагрузке, связанной с деятельностью предприятий силикатной промышленности и близостью производственных объектов горнодобывающей отрасли (Коркинский угольный разрез, Томинский ГОК, Березняковская золотодобывающая компания. Преобладающее направление ветра (юго-западное) дает основание для предположения о воздействии на экосистему поселка Челябинского промышленного узла.

Следствием техногенного воздействия является нестабильное экологическое состояние посёлка Первомайский, сформированное комбинированным влиянием горнодобывающих комплексов и усугублённое локальными факторами. Это состояние характеризуется устойчивым многокомпонентным загрязнением всех сред, в том числе, тяжелыми металлами, высокой пространственной неоднородностью и прямыми рисками для здоровья населения.

Точки отбора почвенных образцов для выполнения химико-экологического анализа выбраны с учетом розы ветров, а также расположения крупных производственных источников загрязнения.

Выполнение анализа почвенной системы на загрязнение тяжёлыми металлами требует предварительной пробоподготовки, в том числе, озоления почвенных образцов с целью минерализации органического вещества, прочно связывающего тяжёлые металлы и препятствующего их полной экстракции в раствор. Дальнейший перевод металлов в растворимую форму требует проведения кислотной экстракции.

Для определения содержания тяжелых металлов и основных химических показателей, обуславливающих изменение их миграционной способности (содержание соединений азота и фосфора) может быть использован фотометрический метод, основанный на зависимости оптической плотности раствора от концентрации исследуемого компонента.

Для определения содержания почвенного гумуса может быть применено окислительно-восстановительное титрование, основанное на окислении органического вещества дихроматом калия с последующим определением остаточного дихромата солью Мора в присутствии кислотно-основного индикатора – о-фенилантраниловой кислоты.

Количественное определение содержания в почве цинка может быть выполнено методом комплексонометрического титрования трилоном Б в присутствии комплексонометрического индикатора – хромогена.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ ПОСЁЛКА ПЕРВОМАЙСКИЙ

3.1 Количественное определение содержания тяжёлых металлов в исследуемых почвах

На первом этапе аналитических работ проведено определение количественного содержания тяжёлых металлов в образцах почв посёлка Первомайский: меди; кобальта; железа и цинка. Результаты анализа приведены в таблице 7.

Результаты определения количественного содержания в исследуемых почвах меди приведены на рисунке 9.

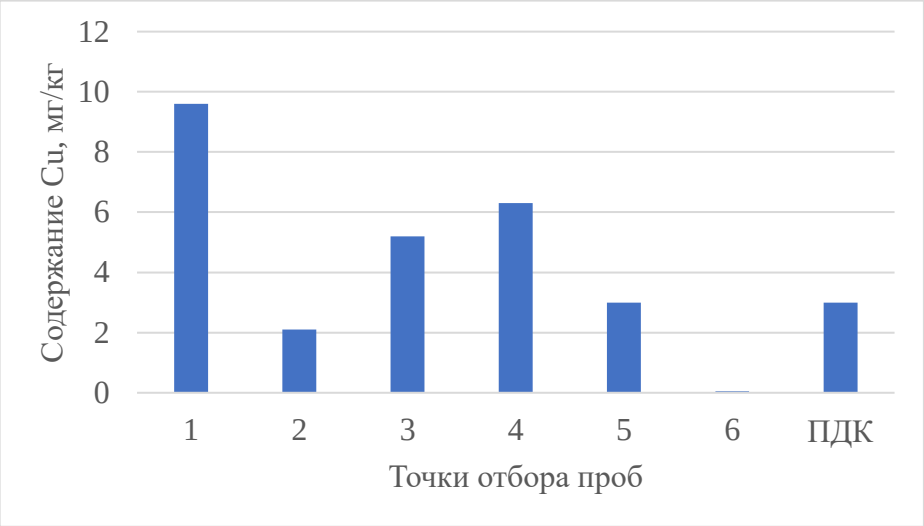


Рисунок 9 – Количественное содержание меди в исследуемых образцах почв

По результатам исследований установлено, что превышением содержания меди относительно ПДК характеризуются точки 1, 3, 4. Среди данных точек непосредственной близостью к производственному объекту характеризуется только точка 4 (превышение 3ПДК). Точки 1 (4,8ПДК) и 3 (2,5ПДК) расположены в зонах, отдаленных от источников эмиссии, но высокие содержания поллютанта в данном случае могут быть обусловлены:

аэрозольными выбросами от производственных объектов, распространяющимися на большие расстояния, а также стоком поверхностных вод, вызывающим дополнительное аккумулятивное поступление меди в почву. Так, за счет медленного плоскостного смыва с северо-востока и северо-запада на юго-запад посёлка и преобладания вертикальной миграции, тяжёлые металлы не выносятся за пределы посёлка, накапливаясь в почвенной системе. Также, высокий показатель концентрации меди в точке 3 может быть обусловлен оседанием вещества на геохимических барьерах, обусловленных, в том числе, инфраструктурой посёлка, что способствует аккумулированию тяжёлых металлов.

Одновременно с этим, точки 5 и 6, расположенные в непосредственной близости от производственных объектов, не подвержены загрязнению медью (в точке 6 наблюдается самое низкое содержание 0,05 мг/кг). Данный факт можно объяснить тем, что объекты силикатной промышленности не выступают в качестве активных источников эмиссии соединений меди. Кроме того, образующиеся на производстве аэрозоли могут уноситься на большие расстояния и оседать в зонах, отдаленных от производственных объектов.

Высоким содержанием, но ниже значений ПДК, исследуемые почвы характеризуются по содержанию цинка (рисунок 10).

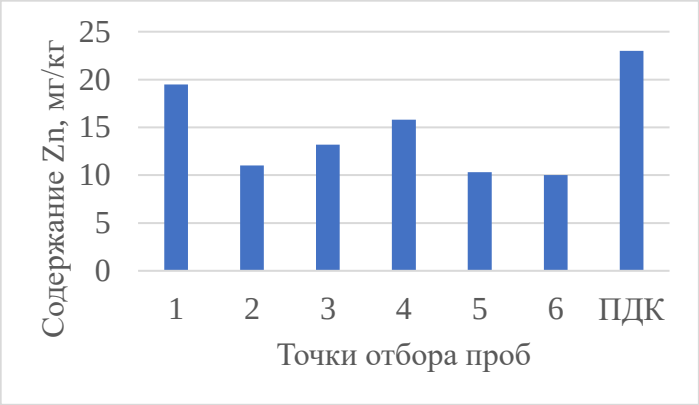


Рисунок 10 – Количественное содержание цинка в исследуемых образцах почв

При этом, наибольшими содержаниями поллютанта характеризуются те же точки, что и для загрязнения медью, что может косвенно подтверждать поступление поллютантов от отдаленных источников эмиссии.

По содержанию поллютантов, которые могут быть потенциально внесены в исследуемые почвы от техногенных объектов (соединения железа и кобальта) исследуемые почвы характеризуются, как незагрязненные. Обобщенные результаты анализа содержания тяжелых металлов в исследуемых почвах приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты исследований содержания тяжёлых металлов в отобранных образцах почв посёлка Первомайский

Точка отбора	Содержание элемента, мг/кг			
	Cu	Co	Fe	Zn
1	9,6	0,30	3,3	19,5
2	2,1	0,50	1,7	11,0
3	5,2	0,50	2,4	13,2
4	6,3	0,10	2,4	15,8
5	3,0	0,50	2,5	10,3
6	0,05	0,40	2,1	10,0
ПДК [29]	3,0	5,0	-	23,0
Класс опасности поллютанта	2	2	3	1

Таким образом, наибольшая степень загрязнения исследуемыми металлами выявлена для почв, расположенных в точке 1, несмотря на ее относительную удаленность от источников эмиссии. Загрязнение может быть объяснено деятельностью предприятий горнодобывающей промышленности и распространением поллютантов ветровым переносом.

3.2 Количественное определение содержания общих химических показателей в исследуемых почвах

На втором этапе проведено определение химико-экологических показателей почв, влияющих на распределение тяжелых металлов: соединений азота в аммонийной и нитратной формах, доступного фосфора в виде ортофосфатов и содержание почвенного гумуса.

Результаты исследований гумусного состояния исследуемых почв представлены на рисунке 11.

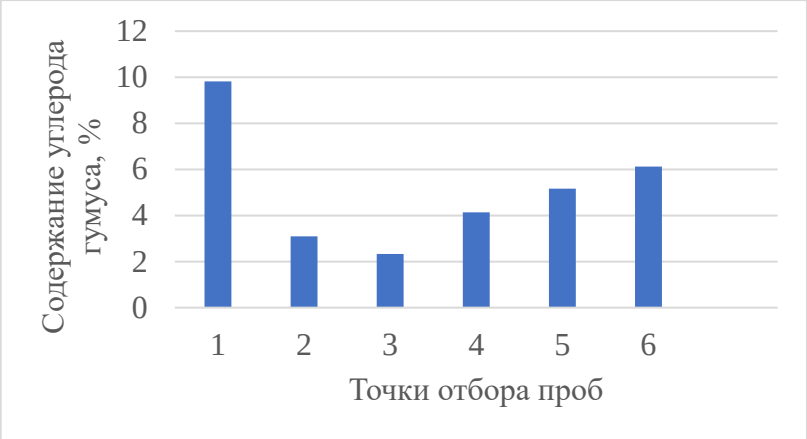


Рисунок 11 – Количественное содержание гумуса в исследуемых образцах почв

Наибольшим содержанием характеризуются почвы в точке 1, что может быть обусловлено ее расположением в прибрежной зоне озера Ходыкино и вблизи частного сектора. Прибрежные зоны часто характеризуются развитой растительностью, которая вносит органические остатки (опад листьев, корней). По показателям гумусного состояния (таблица 8) исследуемая почва характеризуется высоким содержанием гумуса.

Таблица 8 – Показатели гумусного состояния почв [24]

Уровень, характер проявления	Содержание гумуса, %
Очень высокое	>10
Высокое	6-10
Среднее	4-6
Низкое	2-4
Очень низкое	<2

Точки 2 и 3 характеризуются низким содержанием гумуса несмотря на то, что точка 2 расположена по близости от лесной зоны. Подобный результат может быть связан с уплотнением почвы в процессе ее вытаптывания, в результате чего листовой опад и трава медленно вступают в процессы гумификации. Точка 3 расположена в центре посёлка,

характеризуется высокой степенью застройки и заасфальтированности, что и объясняет низкое содержание органического вещества.

Остальные точки характеризуются средним показателем гумусового состояния, что можно объяснить близостью нахождения к ним садоводческих товариществ, которые сезонно могут вносить в почву удобрения и органические остатки.

Высокое содержание органического вещества в точке 1 может, в свою очередь, объяснять высокое содержание в ней тяжелых металлах. Гумусовые вещества, как указывалось ранее, способствуют связыванию поллютантов и их накоплению в верхних почвенных горизонтах.

По результатам исследований обеспеченность почв нитратным и аммонийным азотом во всех исследуемых точках посёлка, кроме точки 1 (обеспеченность средняя), характеризуется как очень низкая (рисунок 12, таблица 9).

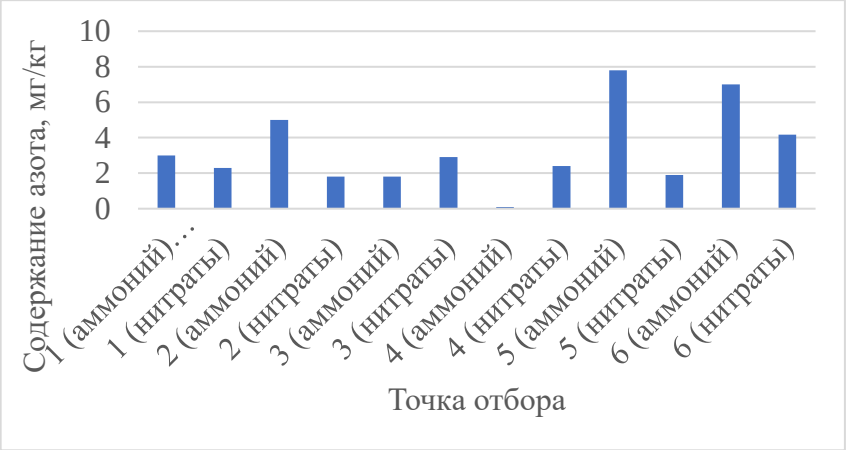


Рисунок 12 – Количественное содержание аммонийного и нитратного азота в исследуемых образцах почв

Такой результат может быть связан с преобладанием на территории посёлка чернозёмов оподзоленных и выщелоченных, а также серых лесных в сочетании с солодями почв, и процессом денитрификации – восстановления нитратов до газообразных соединений азота микроорганизмами в анаэробных условиях.

Таблица 9 – Индексы обеспеченности растений минеральными соединениями почвенного азота (мг/кг) и определения потребности полевых культур в азотных удобрениях [6]

Обеспеченность азотом	0–20 см	0–40 см	0–60 см	Потребность в удобрении
$N-NO_3$				
Очень низкая	< 10	< 5	< 3	Очень высокая
Низкая	10–15	5–10	3–8	Высокая
Средняя	15–20	10–15	8–12	Средняя
Высокая	> 20	> 15	> 12	Отсутствует
$N-NO_3 + N-NH_4$				
Очень низкая	< 15	< 7	< 5	Очень высокая
Низкая	15–30	7–15	5–10	Высокая
Средняя	30–50	15–25	10–20	Средняя
Высокая	> 50	> 25	> 20	Отсутствует

В результате азот возвращается в атмосферу, что может приводить к потерям доступного для растений азота. Дополнительное техногенное воздействие увеличивает дефицит и снижает общую биогенность почвы. Также при длительном сельскохозяйственном использовании (распашке, окультуривании) происходит мобилизация устойчивых запасов азота гумуса и фиксированного аммония, что может снижать содержание минеральных форм азота.

Результаты определения в исследуемых почвах содержания доступного фосфора по методу Кирсанова представлены на рисунке 13.

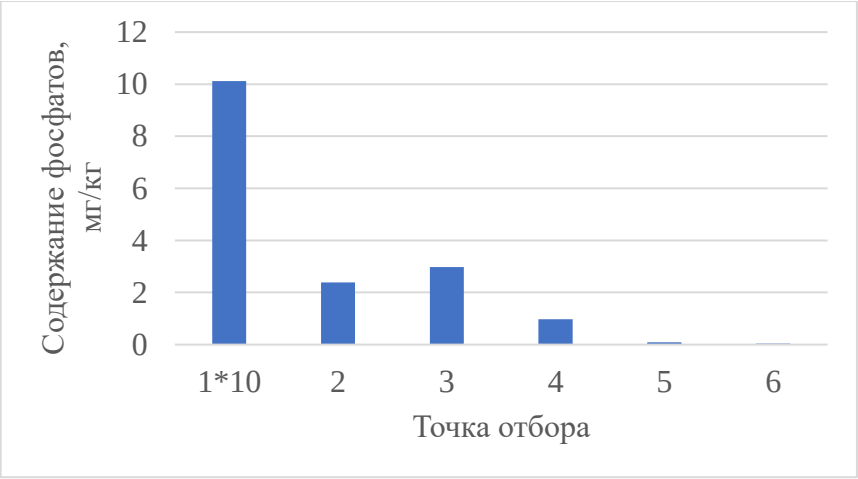


Рисунок 13 – Количественное содержание подвижного фосфора в исследуемых образцах почв по методу Кирсанова

По результатам исследований наибольшим содержанием доступного фосфора характеризуются почвы точки 1 – категория обеспеченности повышенная (таблица 10) [7].

Таблица 10 – Обеспеченность почв доступным фосфором по Кирсанову

Категория обеспеченности	Содержание фосфора, мг/кг	Категория обеспеченности	Содержание фосфора, мг/кг
Очень низкая	25	Повышенная	101–150
Низкая	26–50	Высокая	151–250
Средняя	51–100	Очень высокая	250

Данный результат можно объяснить близостью водоема и частного сектора. Бытовые органические стоки и болотный процесс обеспечивают разложение органического вещества и активное накопление фосфора на данной территории.

Остальные точки по содержанию подвижного фосфора относятся к низкой категории обеспеченности. Точки 5 и 6 расположенные вблизи завода ООО «СЛК Цемент» имеют чрезвычайно низкие значения, указывающие на истощение почвы, связанное с техногенным защелачиванием цементной пылью. В центре и на окраинах посёлка (точки 3, 2, 4) категория обеспеченности очень низкая, что вероятнее всего связано с вымыванием фосфора на вытоптанной территории и наличием песчаных почв, которые бедны подвижным фосфором.

Высокое содержание фосфатов в точке 1 также соотносится с высоким содержанием в ней тяжёлых металлов относительно других исследуемых почв. Фосфаты образуют с ионами тяжелых металлов нерастворимые миграционно неподвижные формы, что способствует накоплению поллютантов в верхних почвенных слоях.

Обобщенные результаты определения химико-экологических показателей в исследуемых почвах представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты исследований химико-экологических показателей исследуемых почв посёлка Первомайский

Точка отбора	Количественное содержание			
	NH_4^+, мг/кг	NO_3^-, мг/кг	PO_4^{3-}, мг/кг	Гумус, %
1	30,0	2,30	101,2	9,82
2	5,00	1,80	2,39	3,10
3	1,80	2,90	2,98	2,33
4	0,10	2,40	0,97	4,13
5	7,80	1,90	0,09	5,16
6	7,00	4,18	0,04	6,12

Выводы по третьей главе

Анализ количественного содержания тяжёлых металлов в исследуемых образцах почв посёлка Первомайский показал, что ряд территории посёлка характеризуется превышением ПДК по меди. Данное превышение может быть обусловлено воздействием горно-обогатительных комбинатов АО «Томинский ГОК» и ГОК «Березняковский», специализирующийся на добыче и переработке медно-порфировых руд и добычи драгоценных металлов.

Наибольшей степенью загрязнения по меди характеризуются почвы точки 1, расположенной в отдалении от производственных объектов, но подверженной ветровому разносу с данных промышленных объектов.

По остальным определяемым металлам превышения ПДК не выявлено на всей исследуемой территории поселка.

Для исследованных почв, за исключением почв точки 1, характерна низкая и средняя степень гумусированности, низкая обеспеченность соединениями азота, низкая и очень низкая обеспеченность доступных форм фосфора. Выявленный дефицит элементов минерального питания может быть связан с воздействием предприятий силикатной промышленности, а также антропогенным воздействием, приводящим к уплотнению исследуемых почв.

Высокое содержание почвенного гумуса, среднее содержание соединений азота и повышенная обеспеченность доступными формами фосфора в почвах точки 1 может влиять на миграционную способность тяжёлых металлов, способствуя их накоплению в верхних почвенных слоях, что обуславливает высокие содержания поллютантов в данных почвах относительно других исследованных территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения работы выполнен обзор информационных источников, посвященный изучению вопросов путей поступления тяжёлых металлов в почвы, их влияния на экосистемы и факторов среды, регулирующих миграционные процессы с участием тяжёлых металлов. Проведен анализ возможного техногенного воздействия на территорию посёлка Первомайский Коркинского муниципального округа Челябинской области. Выполнен количественный анализ содержания тяжёлых металлов (медь, железо, кобальт, цинк) и химико-экологических показателей, обуславливающих миграцию поллютантов (содержание почвенного гумуса, аммонийной и нитратной форм азота, доступного фосфора).

По результатам выполненной работы можно сделать ряд выводов, демонстрирующих полноту решения поставленных задач.

1. Анализ источников информации показал, что тяжёлые металлы выступают в качестве приоритетных загрязнителей, характеризующихся высокой биохимической активностью, кумулятивной и миграционной способностью, токсичностью и экотоксичностью. Миграция тяжёлых металлов связана с кислотно-основными и окислительно-восстановительными условиями, ролью гумуса и его фракционного состава, содержанием азота и фосфора.

2. Территория посёлка Первомайский подвержена интенсивной техногенной нагрузке предприятий силикатной промышленности и горнодобывающей отрасли (Коркинский угольный разрез, Томинский ГОК, Березняковская золотодобывающая компания). Преобладающее направление ветра дает основание для предположения о воздействии на экосистему поселка Челябинского промышленного узла. Следствием воздействий является нестабильное экологическое состояние территории.

3. Для части почв территории посёлка Первомайский выявлено превышение ПДК по меди (в 2,5–4 раза), предположительно, обусловленное

воздействием ГОК «Томинский» и «Березняковский», а также рельефом местности, создающего условия для поверхностного стока и аккумуляции тяжёлых металлов в верхних почвенных горизонтах. Наибольшей степенью загрязнения характеризуется точка 1, расположенная в отдалении от объектов эмиссии, но подверженная ветровому разносу и характеризующаяся высоким содержанием гумуса и доступного фосфора, способствующих накоплению поллютанта.

4. Для исследованных почв, за исключением почв точки 1, характерна низкая и средняя степень гумусированности, низкая обеспеченность соединениями азота и доступного фосфора, что может быть связано с воздействием предприятий силикатной промышленности и антропогенным воздействием, приводящим к уплотнению почв.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Google Карты: – URL: https://www.google.com (дата обращения: 22.04.2026).

2. Google Планета Земля: официальный сайт. – 2020. – URL: https://earth.google.com (дата обращения 01.05.2026).

3. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы её трансформации / Л. Н. Александрова. – Ленинград : Наука, Ленингр. отд-ние, 1980. – 290 с.

4. Алексеев Ю. В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Ленинград : Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 142 с.

5. Архив погоды в Первомайском (Россия): официальный сайт. – 2026. – URL: https://world-weather.ru (дата обращения 22.04.2026).

6. Бабаева К.С. Краткое пособие по агрохимическим свойствам почвы: [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://direct.farm/content/3ca/3ca6d0a7303a4db79bb354bc6d4ccf4b3215362.pf (дата обращения: 07.06.2026).

7. Большая Российская энциклопедия. Агрохимический анализ почв: официальный сайт. – 2026. – URL: https://bigenc.ru/c/agrokhimicheskii-analiz-pochv-7122ea (дата обращения 07.05.2026

8. Вострикова М. А. Характеристика основных выбросов автотранспорта и их влияние на растения / М. А. Вострикова, В. В. Шкода // Инновационная наука. – 2015. – № 11. – С. 65–66. – ISSN 2410-6070.

9. Герасимова Н. С. Титриметрический анализ : методические указания к выполнению домашних заданий по аналитической химии / Н. С. Герасимова, А. Ю. Логинова. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 88 с.

10. Герасимова Н. С. Фотоколориметрические методы анализа : методические указания к выполнению домашних заданий по аналитической

химии / Н. С. Герасимова, Н. И. Савиткин. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 40 с.

11. Глазовская М.А. Почвоведение: учебник для университетов / М.А. Глазовская. — Москва: Издательство Московского университета, 2015. — 412 с. — С. 46.

12. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Постановление: дата введения 2006-04-01 / Министерство юстиции Российской Федерации. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 16 с.

13. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения : государственный стандарт : дата введения 1983-12-17 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Москва : Госкомгидромет СССР, 1983. – 9 с.

14. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб : межгосударственный стандарт : дата введения 1984-07-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 4 с.

15. ГОСТ 27593-88. Почвы. Термины и определения : межгосударственный стандарт : дата введения 1988-07-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 11 с.

16. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик : межгосударственный стандарт : дата введения 2016-04-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 19 с.

17. Давыдова С. Л. Тяжёлые металлы как суперэкотоксиканты XXI века / С. Л. Давыдова. – Москва : Изд-во РУДН, 2002. – 140 с. – ISBN 5-209-01318-9

18. Дубова Н.М. Физико-химические методы анализа : учебное пособие / Н.М. Дубова, Т.М. Гиндуллина, Г.Н. Сутягина, Е.И. Короткова. — Томск : Изд-во ТПУ, 1999. — 123 с

земель урбанизированных территорий / Т. А. Трифонова, А. Н. Краснощеков // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. – 2008. – № 4. – С. 17-18.

19. Исидоров В. А. Экологическая химия : учебное пособие для вузов / В. А. Исидоров. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2016. – 304 с. – ISBN: 978-5-93808-273-1

20. Казакова Н. А. Загрязнение почвы тяжёлыми металлами / Н. А. Казакова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственное академии. – 2009. – № 1. – С. 29–31. – ISSN: 1816-4501

21. Ковда В.А. Основы учения о почвах: учебное пособие для вузов / В.А. Ковда; под ред. Б.Г. Розанова. — Москва: Наука, 2007. — 400 с. — С. 25-26.

22. Коркинский угольный разрез: официальный сайт. – 2018. – URL: https://lenta.ru/articles/2018/02/01/korkinorazrez (дата обращения 04.05.2026)

23. Куликова А. Х. Экологические функции почв / А. Х.Куликова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – т № 1 (4). – С. 3–7. – ISSN: 1816-4501

24. Медведев И. Ф. Тяжёлые металлы в экосистемах / И. Ф. Медведев, С. С. Деревягин. – Саратов : Ракурс, 2017. – 178 с.

25. Околелова А. А. Экологическое почвоведение и законы экологии : учебное пособие / А. А. Околелова, В. Ф. Желтобрюхов, Г. С. Егорова. – Волгоград : ВолгГТУ, 2017. – 216 с.

26. Орлов Д. С. Методика по изучению содержания и состава гумуса в почве / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – Москва : Изд-во МГУ. 1968. 83 с.

27. Орлов Д. С. Химия и охрана почв / Д. С. Орлов // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 3. – С. 65–74.

28. Орлов Д. С. Химия почв : учебник / Д. С. Орлов, Л. К Садовникова, Н. И. Суханова. – Москва : Высш. шк., 2005. – 558 с. – ISBN 5-06-004428-5.

29. Пастухова Н. Д. Физико-химический и биологический анализ почвы и её плодородия в сельскохозяйственной биотехнологии / Н. Д. Пастухова. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. – 38 с.

30. Пименова Е. В. Нормирование качества окружающей среды и сельскохозяйственной продукции / Е. В. Пименова. – Пермь : Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2009. – 74 с.

31. Пименова Е. В. Химические методы в агроэкологическом мониторинге почвы: учебное пособие / Е. В. Пименова, А. Е. Леснов. – Пермь : Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2008. – 145 с.

32. Радион Е. В. Аналитическая химия. В 2-х ч. Ч. 2 : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по химикотехнологическим специальностям / Е. В. Радион, Н. А. Коваленко. – Минск : БГТУ, 2018. – 225 с. – ISBN 978-985-530-6864.

33. Радомская В. И. Техногенное загрязнение тяжелыми металлами территории г. Благовещенска / В. И. Радомская, С. М. Радомский // Мониторинг природных экосистем : сборник статей всероссийской научно-практической конференции. – ПГСХА, 2008. – С. 156–159.

34. Сает Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич [и др.] – Москва : Недра, 1990. – 335 с. – ISBN 5-247-01127-9

35. СанПин 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов

среды обитания. Утверждены Постановлением № 2 Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г.

36. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы и грунтов. Утверждены Постановлением №53 Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 16.04. 2003 г.

37. Седых В.А., Кашанский А.Д., Химина Е.Г. Изменение подвижности тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зависимости от степени их гумусированности и применения высоких доз органических удобрений// Изв. ТСХА.- 2011.-Вып. 3.- С. 1-9.

38. Селюкова С. В. Тяжёлые металлы в органических удобрениях / С. В. Селюкова // Агрохимический вестник. – 2016. – № 5. –С. 47–51. – ISSN: 1029-2551

39. Соколова О. Я. Влияние техногенного воздействия на содержание валовых и подвижных форм тяжёлых металлов в почвах / О. Я. Соколова, А. В. Стряпков [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 2-2 (52). – С. 35–42. – ISSN: 1814-6457

40. Сутягин А. А. Лабораторные работы по химическому анализу почв: учебное пособие / А. А. Сутягин, В. В. Меньшиков. – Челябинск : Изд-во ЮУрГГПУ, 2022. – 162 с. – ISBN: 978-5-907611-28-3

41. Титов А. Ф. Тяжелые металлы и растения : монография / А. Ф. Титов, Н. М. Казина, В. В. Таланова. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2014. – 194 с. – ISBN 978-5-9274-0641-8

42. Ткаченко А. В. Элемент здоровья – цинк и его определение в различных компонентах / А. В. Ткаченко, Д. В. Маковкина, О. М. Дробышева // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. – 2017. – № 10. – С. 264–266. – ISSN: 2226-7425

43. Томинский Горно-обогатительный комбинат официальный сайт. – 2026. – URL: https://tomgok.ru/ (дата обращения 22.05.2026).

44. Трифонова Т. А. Эколого-географический анализ загрязнения ландшафтов / Т. А. Трифонова, Л. А. Ширкина, Н. В. Селиванова. – Владимир : ООО «Владимир Полиграф», 2007. – 169 с. – ISBN: 978-5-903044-17-7

45. Трифонова, Т.А. Оценка экологической компоненты в кадастре земель урбанизированных территорий / Т. А. Трифонова, А. Н. Краснощеков // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. – 2008. – № 4. – С. 17-18.

46. Федорец Н. Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий / Н. Г. Федорец, М. В. Медведев. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 84 с. – ISBN 978-5-9274-0383-7

47. Шачнева Е. Ю. Воздействие тяжёлых токсичных металлов на окружающую среду / Е. Ю. Шачнева // Научный потенциал регионов на службу модернизации : межвузовский сборник научных статей. – Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2012. – С. 127–134.

48. Этоместо. Коркино на Карте Челябинской области [Электронный ресурс]: Спутниковые карты – Режим доступа: http://www.etomesto.ru/na-karte-korkino/ (дата обращения 26.05.2025).

49. Ясовеев, М. Г. Экология урбанизированных территорий: учеб. пособие / М. Г. Ясовеев, Н. Л. Стреха, Д. А. Пацыкайлик. – Минск: Новое знание: ИНФРА-М, 2015. – 292 с. – ISBN978-5-16-010302-0

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Озоление и приготовление почвенных вытяжек

Для проведения озоления почвы с целью определения в ней содержания тяжёлых металлов на технических весах взвесить 10 г воздушно-сухой почвы, поместить ее в чашку для упаривания и прибавить 10 $см^3$ концентрированной азотной кислоты. Нагревать чашку на электроплитке до окончания выделения оксида азота.

Полученную черную массу поместить в муфельную печь и выдерживать при температуре 600–650^{0}С в течение 3 часов.

К полученному сухому остатку после охлаждения до комнатной температуры прибавить 20 $см^3$ соляной кислоты с концентрацией 0,1Н и отфильтровать. Полученный раствор перенести в мерную колбу объемом 100 $см^3$ и довести объем до риски дистиллированной водой.

Для получения почвенной вытяжки при проведении количественного определения аммонийной и нитратной форм азота навеску просеянной воздушно-сухой почвы массой 10 г поместить в коническую колбу объемом 500 $см^3$ и прилить 100 $см^3$ 1Н раствора хлорида калия. Содержимое колбы перемешивать на ротаторе в течение 1 часа и фильтровать через складчатый беззольный фильтр, отбрасывая первые мутные фракции.

Для получения кислотной вытяжки при проведении количественного определения доступного фосфора по А.Т. Кирсанову навеску просеянной воздушно-сухой почвы массой 5 г поместить в коническую колбу емкостью 100 $см^3$, прибавить 25 $см^3$ 0,2Н соляной кислоты и перемешивать на ротаторе в течение 5 минут. Полученную суспензию отстаивать в течение 15 мин и фильтровать раствор через беззольный фильтр, отбросив первые мутные фракции.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Количественное определение железа в почве в виде роданидного комплекса

Роданидный метод количественного определения Fe (III) основан на взаимодействии ионов Fe^{3+} в растворе с роданид-ионами в кислой среде с образованием раствора роданида железа красного цвета. Содержание Fe (III) находят по калибровочному графику.

Чувствительность метода составляет 0,05 мг/дм^3 при толщине фотометрического слоя 3 см.

Реактивы: 1) роданид калия, 0,1 % раствор; 2) рабочий раствор Fe^{3+} (40 мг/дм^3); 3) азотная кислота 1:1.

Для приготовления рабочего раствора Fe^{3+} навеску 0,864 г прозрачных, не выветрившихся кристаллов железоаммонийных квасцов поместить в мерную колбу объемом 1 дм^3, растворить в дистиллированной воде, подкислить 5 см^3 концентрированной серной кислоты и довести объем раствора до метки дистиллированной водой. Полученный раствор разбавить дистиллированной водой в 2,5 раза.

Для построения градуировочного графика в ряд мерных колб объемом 25 см^3 поместить 0; 0,20; 0,30; 0,45; 0,60; 0,90; 1,50; 2,25; 3,35; 5,00; 7,50; 10,00 см^{3}рабочего раствора Fe^{3+}. Прибавить 1 см^3 азотной кислоты (1:1), 4,00 см^3 раствора роданида калия, перемешать и довести объем до метки дистиллированной водой. Определить оптическую плотность полученных растворов при длине волны 400 нм и толщине оптического слоя 1 см. Построить градуировочный график зависимости оптической плотности от концентрации железа (рисунок 12).

20 см^3 кислотной почвенной вытяжки после озоления поместить в мерную колбу объемом 25 см^3, подкислить 1 см^3 азотной кислоты (1:1), прибавить 4 см^3 раствора роданида калия, перемешать. Измерить

оптическую плотность полученного раствора и по градуировочному графику установить массу железа, пересчитав ее на 1 кг почвы.

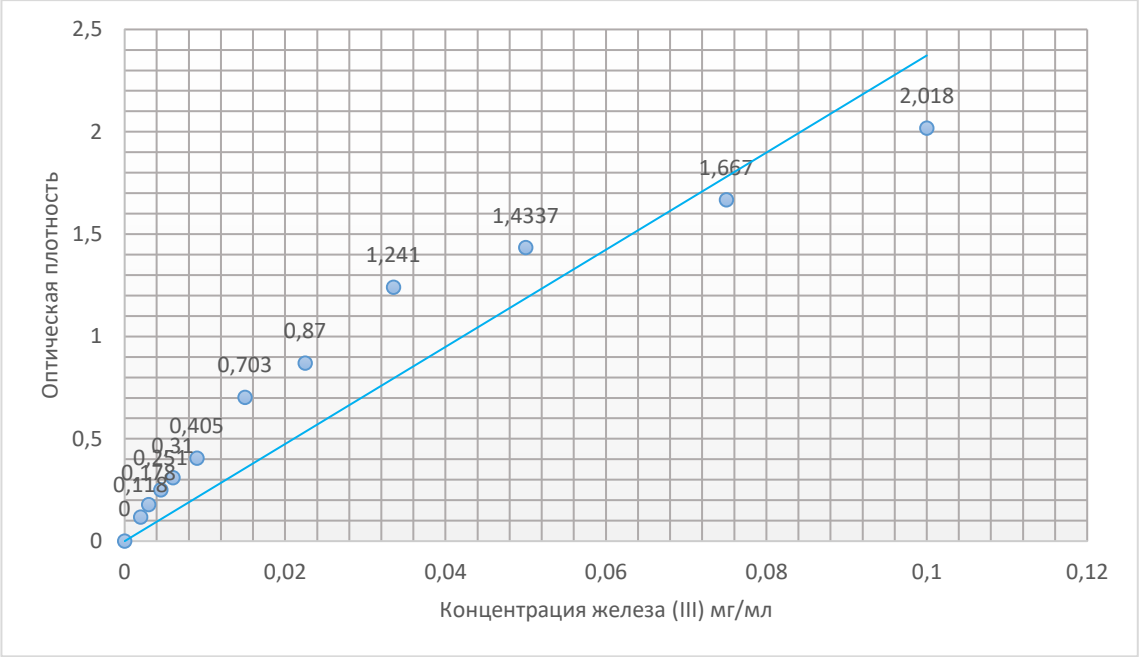


Рисунок 14 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации железа

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Определение меди с диэтилдитиокарбаматом натрия

Метод основан на взаимодействии ионов меди (II) с диэтилдитиокарбаматом натрия в слабо-аммиачном растворе с образованием диэтилдитиокарбамата меди жёлто-коричневого цвета: Для устранения мешающего влияния железа, кальция и магния добавляют раствор тартрата калия-натрия (сегнетовой соли).

Реактивы: 1) аммиак, водный раствор 1:4; 2) тартрат калия-натрия, 0,1% раствор; 3) соляная кислота (1:1); 4) серная кислота (1:1) раствор; 5) крахмал, 0,25% раствор; 6) персульфат аммония, 5% раствор; 7) N,N-диэтилдитиокарбамат натрия, 0,1 %-ный раствор; 8) рабочий раствор Cu^{2+} (1 мкг/см^3).

Для приготовления рабочего раствора Cu^{2+} 0,393 г медного купороса растворить в мерной колбе объемом 1 дм^3, прибавить 1 см^3 серной кислоты довести объем до метки дистиллированной водой. Полученный раствор разбавить дистиллированной водой в 100 раз.

Для построения градуировочного графика в мерные колбы объемом 50 см^3 поместить 0; 1; 2; 5; 10; 20; 30 см^3 рабочего раствора Cu^{2+}. Довести объем в колбах до метки, перелить растворы в конические колбы. Прибавить, перемешивая раствор после прибавления каждого реактива: 2 капли соляной кислоты, 1 см^3 раствора сегнетовой соли, 5 см^3 раствора аммиака, 1 см^3 раствора крахмала, 5 см^3 раствора диэтилдитиокарбамата натрия. Измерить оптическую плотность полученных растворов при длине волны 430 нм и толщине оптического слоя 3 см. По полученным данным построить градуировочный график зависимости оптической плотности раствора от содержания Cu^{2+} (рисунок 13).

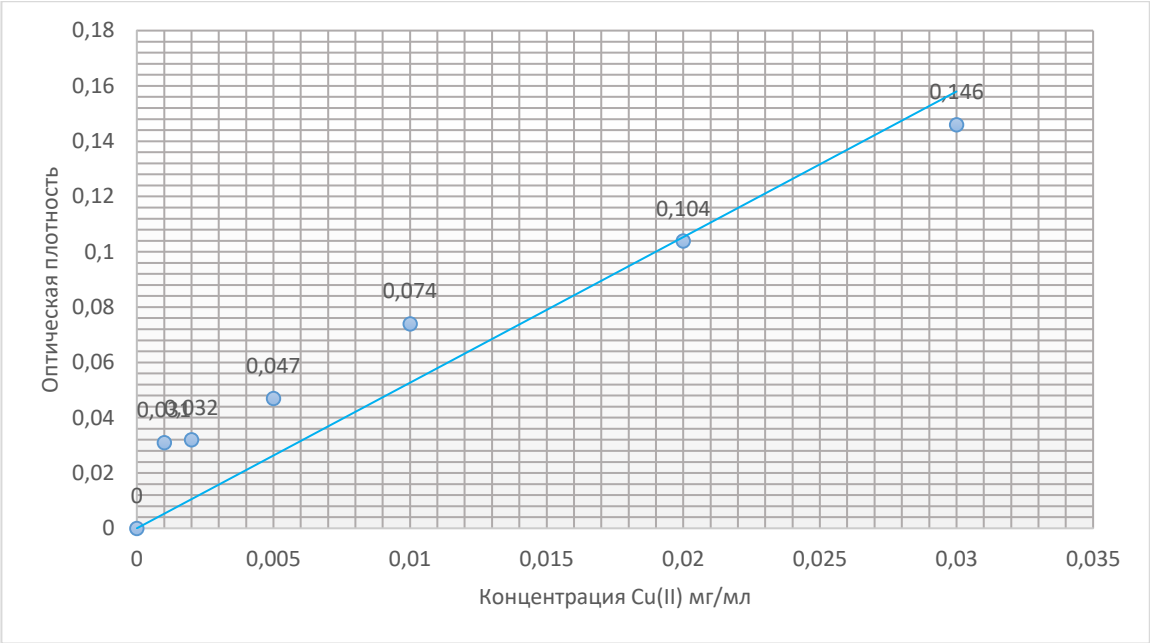


Рисунок 15 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации меди

К 50 см^3 кислотной почвенной вытяжки после озоления прибавить при перемешивании 1 см^3 раствора сегнетовой соли, 5 см^3 раствора аммиака, 1 см^3 раствора крахмала, 5 см^3 раствора диэтилдитиокарбамата натрия. Измерить оптическую плотность раствора и по градуировочному графику определить содержание меди, пересчитав его на 1 кг почвы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Определение содержания кобальта при помощи нитрозо-R-соли

Нитрозо-R-соль образует с кобальтом соединение, окрашенное в красный цвет. Мешающее влияние при определении могут оказывать ионы меди и железа (II), с которыми нитрозо-R-соль образует соединения коричнево-желтого и зеленого цвета соответственно. Эти соединения разрушаются при кипячении с разбавленной азотной кислотой, при этом кобальт окисляется до Co^{3+} и образует прочное окрашенное комплексное соединение красного цвета.

Реактивы: 1) нитрозо-R-соль, 0,1 % раствор; 2) ацетат натрия, 0,4 % раствор; 3) соляная кислота, раствор 1:1; 4) азотная кислота, раствор 1:1; 4) рабочий раствор Co^{2+} (0,1 мг/см^3).

Для приготовления рабочего раствора Co^{2+} 0,4769 г гептагидрата сульфата кобальта (II) растворить в дистиллированной воде и объем довести до 1 дм^3. Полученный раствор разбавить дистиллированной водой в 10 раз.

Для построения градуировочного графика в ряд мерных колб объёмом 25 см^3 поместить 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,6; 0,9; 1,5; 2,0; 3,0; 4,5 см^3 рабочего раствора Co^{2+}, 2 см^3 раствора нитрозо-R-соли, 1,5 см^3 раствора ацетата натрия, 0,3 см^3 соляной кислоты и 2 капли азотной кислоты. Раствор кипятить на кипящей водяной бане 1 минуту, затем прибавить 1 см^3 азотной кислоты и продолжать кипячение ещё одну минуту. Колбы охладить, довести объём раствора дистиллированной водой до метки, перемешать и измерить оптическую плотность растворов при 500-530 нм и толщине оптического слоя 3 см. Построить график зависимости оптической плотности раствора от концентрации Co^{2+} (рисунок 14).

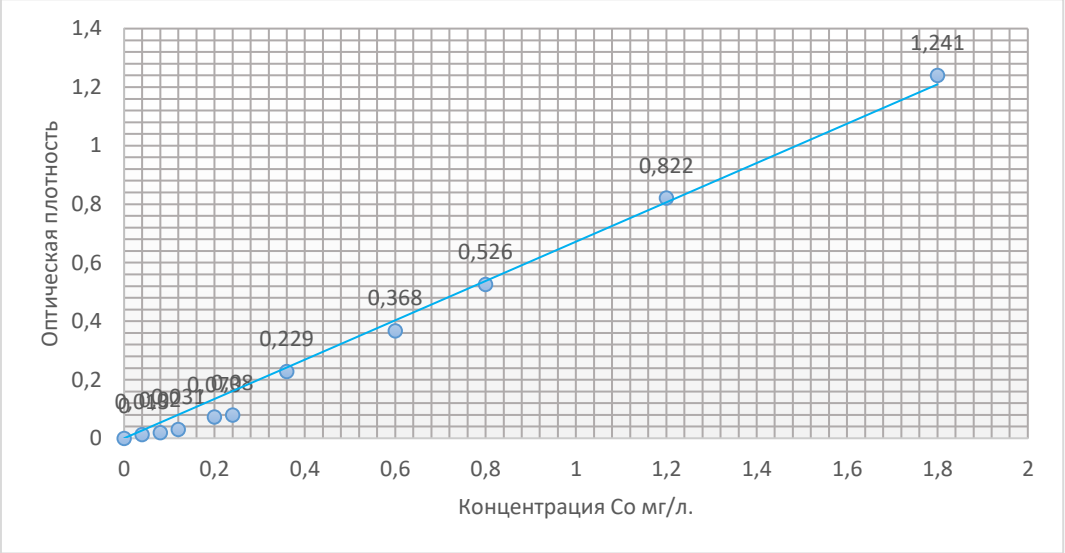


Рисунок 16 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации кобальта

15 см^3 кислотной почвенной вытяжки после озоления поместить в мерную колбу объемом 25 см^3, прибавить 2 см^3 раствора нитрозо-R-соли, 1,5 см^3 раствора ацетата натрия и 2 капли азотной кислоты. Раствор кипятят на кипящей водяной бане 1 минуту, затем прибавляют 1 см^3 азотной кислоты и продолжают кипячение ещё одну минуту. Колбу с раствором охладить под краном, довести объём раствора дистиллированной водой до метки, перемешать и измерить оптическую плотность. Содержание кобальта определить по градуировочному графику и выполнить пересчет на 1 кг почвы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Определение содержания в почве аммонийного азота

Метод определения аммонийного азота по Несслеру основан на способности ионов аммония образовывать со щелочным раствором йодида ртути (II) йодид меркураммония, окрашенный в желтый цвет.

Реактивы: 1) реактив Несслера; 2) тартрат калия-натрия, 50 % раствор; 3) рабочий раствор NH_4^+ (0,01 мг N / $см^3$).

Для приготовления рабочего раствора NH_4^+ 0,3820 г хлорида аммония поместить в мерную колбу объемом 1 $дм^3$, растворить в небольшом объёме дистиллированной воды и довести объём раствора до метки. Полученный раствор разбавить в 10 раз.

Для построения градуировочного графика в ряд мерных колб объемом 50 $см^3$ поместить 2,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0 $см^3$ рабочего раствора NH_4^+, довести объём дистиллированной водой примерно до 40 $см^3$, прибавить 2 $см^3$ сегнетовой соли, перемешать. Прибавить 2 $см^3$ реактива Несслера, тщательно перемешать. Если после перемешивания раствор приобретает опалесценцию, прибавить еще 2 $см^3$ сегнетовой соли, получая прозрачный раствор. Довести объём раствора дистиллированной водой до метки, перемешать, оставить стоять 2–3 минуты. Определить оптическую плотность при длине волны 425 нм и толщине оптического слоя 3 см. Построить график зависимости оптической плотности раствора от концентрации NH_4^+ (рисунок 15).

40 $см^3$ почвенной вытяжки от KCl поместить в мерную колбу объёмом 50 $см^3$, прибавить 2 $см^3$ сегнетовой соли, перемешать. Прибавить 2 $см^3$ реактива Несслера, тщательно перемешать. Если после перемешивания раствор приобретает опалесценцию, прибавить ещё 2 $см^3$ сегнетовой соли, получая прозрачный раствор. Довести объём раствора дистиллированной водой до метки, перемешать, оставить стоять 2–3 минуты. Определить

оптическую плотность раствора. По градуировочному графику определить содержание NH_4^+ и пересчитать его на 1 кг почвы.

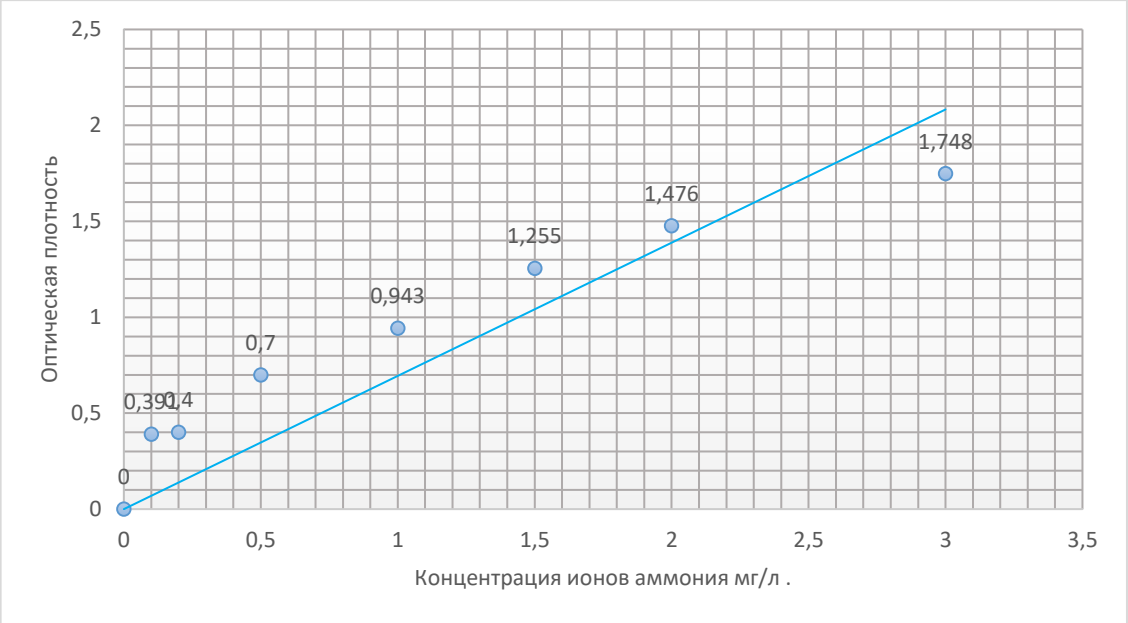


Рисунок 17 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации ионов аммония

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Определение содержания доступного фосфора в почвенной вытяжке Кирсанова

Метод основан на реакции образования фосфорномолибденовой сини при восстановлении фосфорномолибденовой кислоты хлоридом олова (II).

Реактивы: 1) молибдат аммония, 2,5 % раствор в серной кислоте; 2) хлорид олова (II), 2,5% раствор в соляной кислоте; 3) рабочий раствор PO_4^{3-} (0,005 мг/см^3).

Для приготовления рабочего раствора PO_4^{3-} 0,1917 г дигидроортофосфата калия поместить в мерную колбу объёмом 1 дм^3, растворить в небольшом объеме дистиллированной воды и довести объём до риски дистиллированной водой. Полученный раствор разбавить в 10 раз.

Для построения градуировочного графика в ряд мерных колб объёмом 50 см^3 налить 0; 1; 2; 3; 4; 5 см^3 рабочего раствора PO_4^{3-}, разбавить дистиллированной водой примерно до 40 см^3, прибавить 2 см^3 раствора молибдата аммония, перемешать. Прибавить 3 капли раствора хлорида олова, довести объём до метки дистиллированной водой, перемешать. Измерить оптическую плотность растворов при длине волны 725 нм и толщине оптического слоя 3 см. Построить градуировочный график зависимости оптической плотности раствора от концентрации PO_4^{3-} (рисунок 16).

10 см^3 почвенной вытяжки из соляной кислоты (без озоления почвы) поместить в мерную колбу объёмом 50 см^3, разбавить дистиллированной водой примерно до 40 см^3, прибавить 2 см^3 раствора молибдата аммония, перемешать. Прибавить 3 капли раствора хлорида олова, довести объём до метки дистиллированной водой, перемешать. Измерить оптическую плотность раствора. Определить по градуировочному графику содержание фосфатов, пересчитав их на 1 кг почвы.

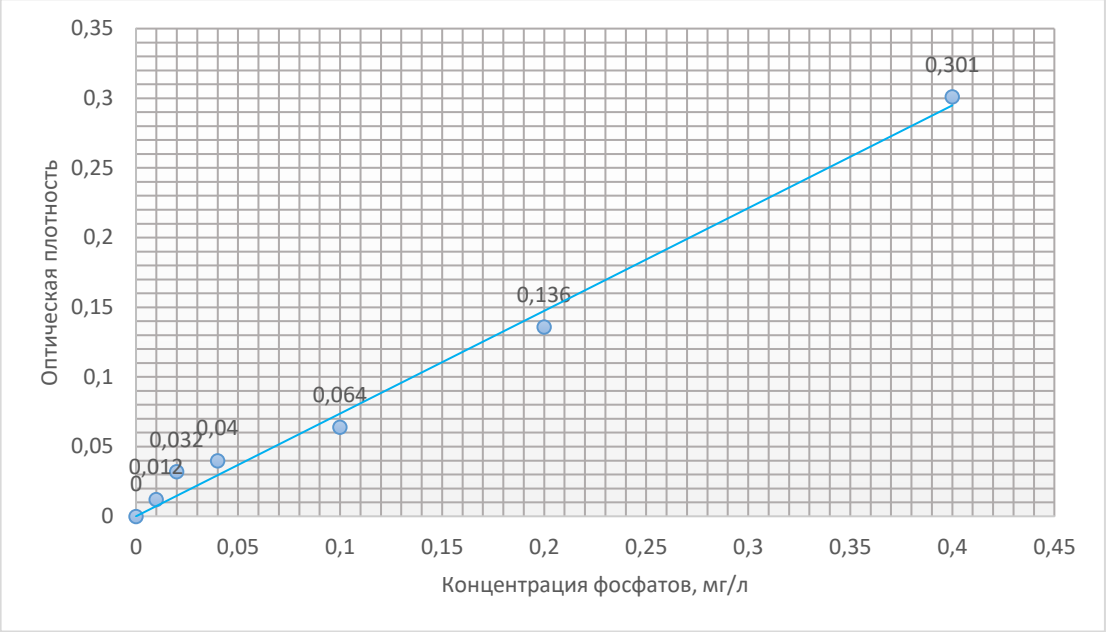


Рисунок 18 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации фосфатов

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Количественное определение нитратного азота в почве

Определение нитратного азота проводят из нейтральной или слабокислой солевой вытяжки путем восстановления нитратной формы в нитритную гидразином с последующим определением нитритов реактивом Грисса.

Реактивы: 1) раствор сульфата меди (II), 0,25%; 2) раствор сульфата гидразина, 2,75%; 3) раствор сульфаниламида и α-нафтиламина в фосфорной кислоте (100 $см^3$ фосфорной кислоты, 5 г сульфаниламида и 1 г нафтиламина довести до 1 $дм^3$ дистиллированной водой); 4) щелочной раствор пирофосфата натрия (5 г пирофосфата натрия и 8 г гидроксида натрия довести до 1 $дм^3$ дистиллированной водой); 5) рабочий раствор NO_3^- (0,01 мг/$см^3$); 6) трилон Б кристаллический

Для приготовления рабочего раствора NO_3^- 0,1631 г нитрата калия растворить в дистиллированной воде и довести объем до 1 $дм^3$.

Для построения градуировочного графика приготовить восстанавливающий раствор, смешав 6 $см^3$ раствора сульфата меди и 200 $см^3$ раствора сульфата гидразина. Довести объём до 1 $дм^3$ дистиллированной водой.

Приготовить окрашивающий раствор разбавлением фосфорнокислого раствора сульфаниламида и α-нафтиламина дистиллированной водой в соотношении 1:4 и растворив в полученном растворе трилон Б из расчета 0,2 г на 1 $дм^3$ раствора.

Для построения градуировочного графика в ряд мерных колб объемом 50 $см^3$ влить 0; 0,25; 0,35; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 2,00; 2,50; 3,00; 3,50;5,00 $см^3$ рабочего раствора NO_3^-. Прибавить 10 $см^3$ щелочного раствора пирофосфата натрия, и 10 $см^3$ восстанавливающего раствора, перемешать. Через 10 мин прилить 25 $см^3$ окрашивающего раствора, перемешать. Оставить раствор на

15 минут. Определить значения оптической плотности при длине волны 545 нм и толщине оптического слоя 3 см. Построить график зависимости оптической плотности раствора от концентрации нитратов (рисунок 17).

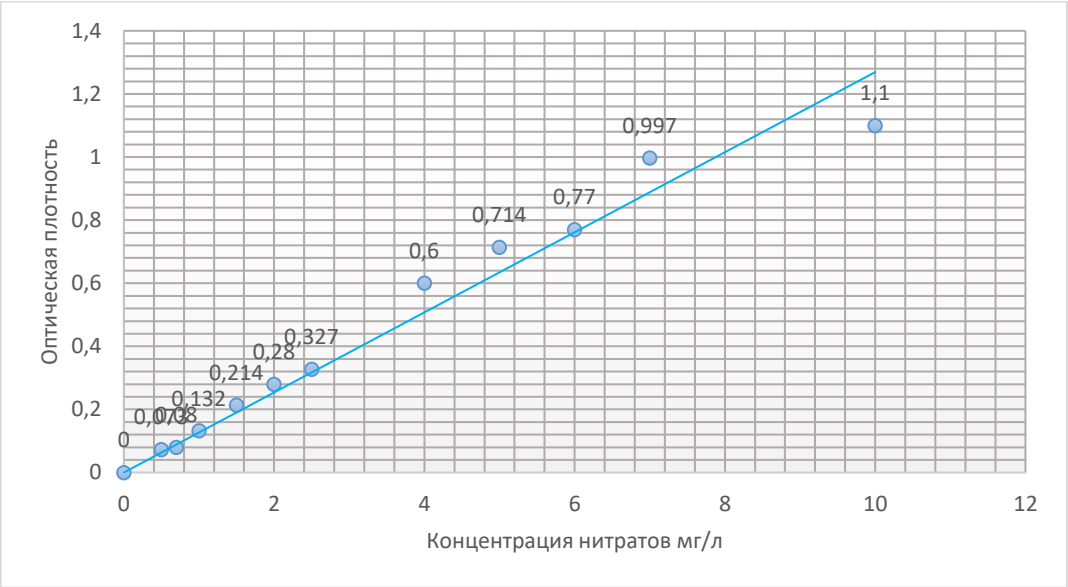


Рисунок 19 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации нитратов

К 5 см^3 фильтрата от вытяжки из KCl прибавить 10 см^3 щелочного раствора пирофосфата натрия, и 10 см^3 восстанавливающего раствора, перемешать. Через 10 минут прилить 25 см^3 окрашивающего раствора, перемешать. Оставить раствор на 15 минут и измерить значение оптической плотности. По градуировочному графику определить содержание нитратов и пересчитать его на 1 кг почвы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Определение содержания почвенного гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации В.И. Симакова

В основе метода лежит окисление органического вещества почв дихроматом калия в кислой среде с последующим количественным определением результатов окисления титрованием солью Мора в присутствии окислительно-восстановительного индикатора – фенилантраниловой кислоты.

Реактивы: 1) раствор фенилантраниловой кислоты, 0,2 %; 2) раствор дихромата калия 0,4 Н в серной кислоте; 3) раствор сульфата железа (II) 0,2 Н.

Из образца просеянной воздушно-сухой почвы отобрать навеску путем визуального анализа согласно таблице 12.

Таблица 12 – Визуальное определение ориентировочного содержания гумуса в почве и массы навесок для выполнения титриметрического определения [40]

Окраска почвы	Содержание гумуса, %	Навеска почвы, г	Окраска почвы	Содержание гумуса, %	Навеска почвы, г
Очень черная	10–15	0,02-0,03	Серая	2-4	0,10-0,30
Черная	7-10	0,03-0,05	Светло-серая	1-2	0,30-0,50
Темно-серая	4-7	0,05-0,10	Белесая	0,5-1	0,50

Навеску поместить в коническую колбу объемом 100 $см^3$ и прибавляют 10 $см^3$ раствора дихромата калия так, чтобы смесь попала на дно колбы, не оставаясь на её стенках. Содержимое колб перемешать круговыми движениями таким образом, чтобы частицы почвы не оставались на стенках колбы. Горло колб накрыть стеклянной воронкой, поставить колбу на электроплитку и нагревать ровно 5 минут от начала кипения раствора.

По окончании кипячения охладить раствор до комнатной температуры, горло колбы омыь изнутри небольшим объёмом дистиллированной воды (10–20 см^3), прибавить 5–6 капель раствора фенилантраниловой кислоты и титровать раствором соли Мора до перехода окраски от красно-фиолетовой в зеленую. Параллельно провести холостой опыт с 10 см^3 хромовой смеси, обрабатывая ее аналогично выполняемому определению.

Расчет содержания органического углерода провести по формуле (7):

$$C = \frac{(a+b)\times N\times 0.003\times 100}{p} \qquad (7),$$

где С – содержание органического углерода, %;

a – объем соли Мора, израсходованный на титрование в холостом опыте, см^3;

b – объем соли Мора, израсходованный на титрование в опыте с почвой, см^3;

N – молярно-эквивалентная концентрация раствора соли Мора, ммоль/см^3;

0,003 – молярная масса эквивалента углерода, г/ммоль;

100 – множитель для пересчета результатов анализа на 100 г почвы;

p – масса навески почвы, г.

Для пересчета содержания органического углерода на почвенный гумус используют формулу (8):

$$Г = 1{,}724 \times C \quad (8),$$

где Г – содержание почвенного гумуса, %;

1,724 – коэффициент К. Шпренгеля из расчета, что гуминовая кислота содержит 58 % углерода;

С – содержание органического углерода, %.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Определение содержания в почве цинка комплексонометрическим титрованием

Метод основан на образовании комплекса цинка с трилоном Б в слабокислой среде. При титровании соединений цинка трилоном Б в присутствии ксиленолового оранжевого в точке эквивалентности наблюдается переход красно-коричневой окраски комплекса "цинк-индикатор" на желто-оранжевую комплекса "цинк-трилон".

Определению мешает присутствие ионов железа, алюминия и меди. Влияние железа и алюминия устраняется осаждением аммиаком в виде гидроксидов, а влияние меди – связыванием в тиосульфатный комплекс.

Реактивы: 1) трилон Б, 0,05 Н; 2) соляная кислота концентрированная; 3) раствор уксусной кислоты, 20%; 4) раствор аммиака, 20%; 5) тиосульфат натрия кристаллический; 6) персульфат аммония кристаллический; 7) раствор ксиленолового оранжевого, 0,1%; 8) ацетатно-буферный раствор pH = 4,8.

В коническую колбу объёмом 250 $см^3$ отобрать 25 $см^3$ кислотной вытяжки почвы после озоления. Прибавить 0,2 г персульфата аммония и 50 $см^3$ дистиллированной воды, нагретой до 80°С. Пробу нагреть до кипячения и упаривать 15–20 минут до объёма 10 $см^3$. Остаток перенести в мерную колбу объёмом 50 $см^3$ и довести объём до метки горячей дистиллированной водой. Довести раствор до кипячения и медленно, при интенсивном перемешивании добавлять аммиак до появления его отчетливого запаха в пробе и выпадения осадка гидроокиси железа. Пробу кипятить около 1 минуты и быстро фильтровать через смоченный горячей дистиллированной водой фильтр в коническую колбу объёмом 250 $см^3$. Осадок промыть горячей дистиллированной водой.

Воронку с фильтром и осадком перенести на колбу, в которой проводилось осаждение. Осадок растворить в 15 см^3 горячей соляной кислоты, разбавленной дистиллированной водой в соотношении 1:1. Фильтр промыть два раза водой. В полученном соляно-кислотном растворе повторно осадить железо аммиаком, осадок фильтровать через тот же бумажный фильтр и в ту же коническую колбу, которые были использованы при первом осаждении железа. Дважды промыть осадок горячей дистиллированной водой.

Фильтрат, полученный после двукратного осаждения железа, упарить до объёма 100 см^3, охладить до 40 °С и подкислить раствором уксусной кислоты до pH = 4–5. В подкисленную пробу добавить 1 г кристаллического тиосульфата натрия и оставить на 5 минут, после чего добавить 5 см^3 ацетатно-буферного раствора, 6–7 капель ксиленолового оранжевого и титровать трилоном Б до перехода окраски от красно-коричневой окраски до желтой.

Содержание цинка вычисляют по формуле (9):

$$C = \frac{a \times N \times 32{,}69}{V} \qquad (9),$$

где a – объём раствора трилона Б, затраченный на титрование, см^3;

N – молярно-эквивалентная концентрация трилона Б, моль/дм^3;

32,69 – молярная масса эквивалента цинка, г/моль;

V – объем почвенной вытяжки, взятый для анализа.

Исходя из полученного результата, проводится пересчет объема вытяжки на 1 кг почвы.